铣削工艺手册

XIXUE GONGYI SHOUCE

徐鸿本 姜全新 曹甜东 主编

铣削工艺

随用随查

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

铣削工艺手册

主编　徐鸿本　姜全新　曹甜东
参编　凌二虎　徐　浩　童兆丹

机械工业出版社

本手册精选了铣床、铣床常用刀具及辅具、铣床附件及夹具、常用量具与量仪、加工余量与切削用量、公差配合与表面粗糙度、零件铣削工艺、难切削材料的铣削加工等方面必备的技术资料。同时通过典型实例，介绍有关工艺方案、工艺装备、工艺参数选择以及工艺计算等内容，以便于读者借鉴和运用。附录收录了“切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组”、“常用几何图形的面积计算”和“常用几何体的体积和表面积的计算”。

本手册的主要特色是选取适当内容，收录铣削加工所需的多方面资料；介绍具体方法，通过案例说明如何应用资料；采取恰当形式，通过大量图表使资料便于查询使用。

本手册是从事铣削加工技术操作、工艺和教学人员必备的工具书，亦可供相关工艺技术管理人员和大、中专及职业院校机械类专业学生在工程实训和技能培训中参考。

图书在版编目（CIP）数据

铣削工艺手册/徐鸿本，姜全新，曹甜东主编. —北京：机械工业出版社，2012.6

ISBN 978-7-111-38109-9

Ⅰ.①铣…　Ⅱ.①徐…②姜…③曹…　Ⅲ.①铣削-工艺-技术手册　Ⅳ.①TG54-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 075123 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：李万宇　责任编辑：王治东
版式设计：霍永明　责任校对：张晓蓉
封面设计：路恩中　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市胜利装订厂装订）
2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm · 44.25 印张 · 2 插页 · 1273 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-38109-9
定价：99.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心:(010)88361066	教材网:http://www.cmpedu.com
销售一部:(010)68326294	机工官网:http://www.cmpbook.com
销售二部:(010)88379649	机工官博:http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线:(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

“工欲善其事，必先利其器”。工具书在人们的工作中，就是一件重要的利器。《铣削工艺手册》应是从事铣削加工工艺、技术操作和教学人员必备的工具书。

本手册除精选与铣削工艺相关的必备技术资料外，还列举了多种与生产实际紧密结合的典型案例。其中，特别是有关铣削工艺方案、工艺装备、工艺参数的选择以及工艺计算等内容，希望能有助于读者在铣削工艺方面知识的拓展与技能的提高。

本手册力求内容丰富、图文并茂和注重实用。但限于编者的水平，存在的不足、甚至谬误，恳请读者指正。在编写中参阅了多种书刊、文献，现谨向“参考文献”中所列作者、国家标准制定者及出版者表示衷心的感谢。

本手册的编写人员有徐鸿本（第4章）、姜全新（第2、3章）、曹甜东（第6、7章）、凌二虎（第1章）、徐浩（第5章）和童兆丹（第8章、附录）。全书由徐鸿本统稿、定稿。

编　者

目　　录

前言

第 1 章　铣　　床

1.1　铣床的型号及编制方法 ………… 1
1.1.1　通用机床型号表示方法 ………… 1
1.1.2　机床的分类及类代号 …………… 1
1.1.3　机床的特性代号 ………………… 1
1. 通用特性代号 …………………… 1
2. 结构特性代号 …………………… 2
1.1.4　机床的组、系代号 ……………… 2
1.1.5　机床的主参数 …………………… 4
1.1.6　机床重大改进顺序号 …………… 4
1.1.7　铣床型号示例 …………………… 4
1.2　常用铣床的型号与技术参数 … 4
1.3　卧式万能升降台铣床的结构与传动系统 ………………………… 9
1.3.1　X6132 型卧式万能升降台铣床主要组成部分的名称和用途 …… 9
1.3.2　X6132 型卧式万能升降台铣床的性能、特点与主要技术参数 … 9
1.3.3　X6132 型卧式万能升降台铣床的传动系统 …………………… 10
1.4　X6132 型卧式万能升降台铣床变速系统的结构与操纵机构 ………………………………… 12
1.4.1　X6132 型铣床主轴变速箱的传动系统结构与操纵机构 ……… 12
1.4.2　X6132 型铣床进给变速箱与操纵机构 ……………………… 14
1.4.3　X6132 型铣床工作台的传动与操纵机构 …………………… 15
1.5　其他铣床简介 …………………… 18
1.5.1　X5032 型立式升降台铣床 …… 18
1.5.2　X8126 型万能工具铣床 ……… 18
1.5.3　四轴龙门铣床 ………………… 20
1.6　铣床的加工精度、调整及精度检验 ………………………………… 21
1.6.1　铣床加工的经济精度 ………… 21
1.6.2　铣床主要零部件的精度对工件加工精度的影响 ……………… 21
1.6.3　常用铣床的调整 ……………… 24
1. 主轴轴承间隙的调整………………… 24
2. 工作台传动丝杠间隙的调整……… 25
3. 工作台导轨间隙的调整…………… 26
1.6.4　铣床的精度检验 ……………… 26
1. 常用铣床的几何精度检验………… 26
2. 常用铣床（卧式和立式升降台铣床）的工作精度检验 ………… 35
1.7　铣床的空运转试验与维护保养 ………………………………… 35
1.7.1　铣床的空运转试验 …………… 35
1.7.2　铣床的维护与保养 …………… 36
1.8　常用铣床的故障排除与安全操作 ………………………………… 37
1.8.1　常用铣床故障的原因及排除方法 ……………………………… 37
1. 铣削时振动大……………………… 37
2. 手摇工作台纵向移动过程中松紧不均匀……………………………… 37
3. 升降台低速升降时爬行…………… 37
4. 工作台快速进给不能起动或脱不开……………………………………… 37
5. 进给系统安全离合器失灵………… 37
6. 主轴转动不良或无法起动………… 37
7. 变速齿轮不易啮合………………… 37
8. 工作台横向和垂直方向进给操纵手柄失灵或手动与机动联锁装置失灵……………………………………… 38
1.8.2　铣床的安全操作 ……………… 38

第 2 章　铣床常用刀具及辅具

2.1　铣刀 …… 42

2.1.1　铣刀的类型 …… 42

1. 按铣刀的用途分类 …… 42
2. 按铣刀的结构分类 …… 43
3. 按铣刀刀齿的构造分类 …… 43

2.1.2　铣刀切削部分的材料 …… 44

1. 高速钢 …… 44
2. 硬质合金 …… 44
3. 陶瓷 …… 52
4. 金刚石 …… 53
5. 立方氮化硼 …… 54

2.1.3　铣削运动、要素与铣削方式 …… 54

1. 铣削运动 …… 54
2. 铣削时工件上形成的三个表面 …… 54
3. 铣削要素 …… 55
4. 铣削方式 …… 57
5. 铣削特点 …… 58

2.1.4　铣削过程的基本规律及物理现象 …… 59

1. 铣削过程与切屑种类 …… 59
2. 积屑瘤 …… 60
3. 铣削力和铣削功率 …… 61
4. 切削热与切削温度 …… 64
5. 刀具磨损 …… 65
6. 刀具的磨钝标准 …… 67
7. 刀具寿命与刀具总寿命 …… 68

2.1.5　铣刀几何角度的选择 …… 69

2.1.6　常用铣刀的主要用途及规格尺寸 …… 74

1. 圆柱形铣刀的用途及规格尺寸 …… 74
2. 三面刃铣刀的用途及规格尺寸 …… 74
3. 角度铣刀的用途及规格尺寸 …… 83
4. 螺钉槽铣刀的规格尺寸 …… 83
5. 尖齿槽铣刀的规格尺寸 …… 88
6. 锯片铣刀、切口铣刀与硬质合金锯片铣刀 …… 89
7. 铲背成形铣刀的用途及规格尺寸 …… 92
8. 键槽铣刀的用途及规格尺寸 …… 98
9. T 形槽铣刀的用途及规格尺寸 …… 101
10. 直柄燕尾槽、反燕尾槽铣刀的用途及规格尺寸 …… 104
11. 套式铣刀 …… 105
12. 立铣刀的用途及规格尺寸 …… 106

2.1.7　可转位铣刀 …… 111

1. 可转位立铣刀 …… 111
2. 可转位三面刃铣刀 …… 113
3. 可转位面铣刀 …… 114
4. 可转位硬质合金铣刀刀片 …… 117
5. 可转位硬质合金铣刀刀片的定位、夹紧与刀片位置的调整 …… 130

2.1.8　铣刀的安装 …… 135

2.1.9　铣刀辅具 …… 137

1. 铣刀杆 …… 137
2. 中间套 …… 148
3. 铣夹头 …… 151
4. 铣床用钻夹头接杆 …… 154

2.1.10　铣刀的刃磨及检测 …… 155

1. 铣刀刃磨的要求 …… 155
2. 刃磨铣刀的设备与工具 …… 159
3. 铣刀的刃磨方法及其调整 …… 159
4. 铣刀的检测 …… 163

2.2　钻头 …… 165

2.2.1　粗直柄小麻花钻 …… 165

2.2.2　直柄短麻花钻 …… 165

2.2.3　直柄麻花钻 …… 166

2.2.4　直柄长麻花钻 …… 166

2.2.5　直柄超长麻花钻 …… 166

2.2.6　莫氏锥柄麻花钻 …… 166

2.2.7　莫氏锥柄长麻花钻 …… 166

2.2.8　莫氏锥柄加长麻花钻 …… 166

2.2.9　莫氏锥柄超长麻花钻 …… 178

2.2.10　硬质合金麻花钻 …… 179

2.2.11　群钻 …… 180

2.3　扩孔钻 …… 184

2.3.1　直柄扩孔钻 …… 184

2.3.2　莫氏锥柄扩孔钻 …… 187

2.3.3　套式扩孔钻 …… 187

2.3.4　硬质合金扩孔钻 …… 187

2.4　锪钻 …… 190

2.4.1　60°、90°、120°直柄锥面锪钻 …… 190

2.4.2 60°、90°、120°莫氏锥柄锥面锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.3 带可换导柱锥柄平底锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.4 带导柱直柄平底锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.5 带导柱直柄90°锥面锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.6 带可换导柱锥柄90°锥面锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.7 高速钢莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.8 硬质合金莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.9 片形端面锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.10 大直径端面锪钻的结构和尺寸 …… 190
2.4.11 小直径端面锪钻的结构和尺寸 …… 190

2.5 铰刀 …… 196

2.5.1 直柄机用铰刀 …… 196
2.5.2 锥柄机用铰刀 …… 196
2.5.3 莫氏锥柄长刃机用铰刀 …… 196
2.5.4 硬质合金直柄机用铰刀 …… 199
2.5.5 硬质合金锥柄机用铰刀 …… 199
2.5.6 直柄机用1∶50锥度销子铰刀 …… 199
2.5.7 锥柄机用1∶50锥度销子铰刀 …… 199
2.5.8 莫氏锥柄机用1∶8锥度铰刀 …… 200
2.5.9 莫氏圆锥铰刀及米制圆锥铰刀 …… 200
2.5.10 机用带刃倾角铰刀 …… 200
2.5.11 机用套式铰刀 …… 200
2.5.12 硬质合金可调节浮动铰刀 …… 200
2.5.13 机用无刃铰刀 …… 210

2.6 镗刀 …… 210

2.6.1 镗刀的类型 …… 210
2.6.2 镗刀杆及镗刀架 …… 212
2.6.3 镗套 …… 225

第3章 铣床附件及夹具

3.1 铣床附件 …… 232

3.1.1 机用虎钳 …… 232
3.1.2 回转工作台 …… 233
3.1.3 万能分度头 …… 236
3.1.4 万能立铣头 …… 237

3.2 铣床专用夹具 …… 238

3.2.1 夹具的作用 …… 238
3.2.2 夹具的组成 …… 238
3.2.3 工件的定位 …… 240
1. 工件的定位原理 …… 240
2. 常用定位元件所能限制的自由度 …… 243
3.2.4 常用的定位元件 …… 245
1. 工件以平面定位 …… 245
2. 工件以圆柱内表面定位 …… 247
3. 工件以圆柱外表面定位 …… 249
4. 工件以特殊表面定位 …… 250
3.2.5 工件的夹紧 …… 251
1. 夹紧装置的组成及基本要求 …… 251
2. 夹紧力的确定 …… 252
3.2.6 常用的典型夹紧机构 …… 254
1. 斜楔夹紧机构 …… 254
2. 螺旋夹紧机构 …… 254
3. 偏心夹紧机构 …… 256
4. 铰链夹紧机构 …… 256
5. 定心、对中夹紧机构 …… 256
6. 联动夹紧机构 …… 258
3.2.7 常用的对刀装置 …… 258
3.2.8 常用的铣床夹具 …… 259
1. 直线进给式铣床夹具 …… 259
2. 圆周进给式铣床夹具 …… 263
3. 靠模进给式铣床夹具 …… 265
3.2.9 可调整夹具 …… 267
1. 可换机用虎钳钳口 …… 267
2. 其他可调整夹具 …… 269
3.2.10 组合夹具 …… 270
1. 槽系组合夹具的元件 …… 271
2. 铣削加工组合夹具应用实例 …… 298

第4章 常用量具与量仪

4.1 游标类量具 ………………………… 301
4.1.1 游标卡尺 ………………………… 301
4.1.2 高度卡尺 ………………………… 305
4.1.3 深度卡尺 ………………………… 306
4.1.4 齿厚卡尺 ………………………… 306
4.2 螺旋测微量具 ……………………… 307
4.2.1 外径千分尺 ……………………… 307
4.2.2 两点内径千分尺 ………………… 309
4.2.3 内测千分尺 ……………………… 310
4.2.4 三爪内径千分尺 ………………… 310
4.2.5 板厚千分尺 ……………………… 311
4.2.6 壁厚千分尺 ……………………… 311
4.2.7 深度千分尺 ……………………… 312
4.2.8 公法线千分尺 …………………… 312
4.2.9 螺纹千分尺 ……………………… 313
4.3 机械式测微仪 ……………………… 314
4.3.1 指示表 …………………………… 314
4.3.2 杠杆指示表 ……………………… 314
4.3.3 内径指示表 ……………………… 314
4.3.4 大量程指示表 …………………… 314
4.3.5 钢球式内径指示表 ……………… 316
4.3.6 涨簧式内径指示表 ……………… 316
4.3.7 深度指示表 ……………………… 317
4.3.8 指示表的结构原理与使用 …… 317
4.4 角度量具 ………………………… 319
4.4.1 正弦规 …………………………… 319
4.4.2 直角尺 …………………………… 321
4.4.3 方形角尺 ………………………… 324
4.4.4 游标万能角度尺 ………………… 324
4.4.5 刀口形直尺 ……………………… 325
4.4.6 水平仪 …………………………… 325
1. 条式水平仪 ……………………… 325
2. 框式水平仪 ……………………… 326
3. 合像水平仪 ……………………… 326
4.4.7 角度量块 ………………………… 327
1. 常用角度量块 …………………… 327
2. 特种角度量块 …………………… 328
3. 测量角度的判定 ………………… 328
4.5 量块、量针和量规 ……………… 329
4.5.1 量块 ……………………………… 329
4.5.2 量针 ……………………………… 331
4.5.3 量规 ……………………………… 332
1. 光滑极限量规 …………………… 332
2. 普通螺纹量规 …………………… 335
3. 梯形螺纹量规 …………………… 340
4.5.4 塞尺 ……………………………… 344
4.5.5 半径样板 ………………………… 345
4.5.6 螺纹样板 ………………………… 346
4.6 电动轮廓仪 ……………………… 347
4.7 量具的选择 ……………………… 347
4.7.1 根据测量内容和零件状况
选择量具 ………………………… 347
4.7.2 根据零件的生产批量选择
量具 ……………………………… 348
4.7.3 根据零件的精度选择量具 …… 348

第5章 加工余量与切削用量

5.1 加工余量 ………………………… 353
5.1.1 工序余量的确定方法 ………… 353
5.1.2 几种表面及其加工方法的
加工余量 ………………………… 354
1. 平面的加工余量 ………………… 354
2. 孔的加工余量 …………………… 354
3. 精铣花键的加工余量 …………… 357
5.2 切削用量的选择 ………………… 357
5.2.1 切削用量的选择原则 ………… 357
1. 切削用量对刀具寿命的影响 …… 358
2. 切削用量与加工生产率的关系 … 358
3. 切削用量对加工表面粗糙度的
影响 ……………………………… 359
5.2.2 铣削用量的选择 ……………… 359
5.2.3 铣削用量 ………………………… 360
1. 高速钢面铣刀、圆柱铣刀和圆
盘铣刀铣削时的进给量 ………… 360
2. 高速钢立铣刀、角度铣刀、半
圆铣刀、切槽铣刀和切断铣刀
铣削钢的进给量 ………………… 361

3. 硬质合金面铣刀、圆柱铣刀和圆盘铣刀铣削平面和凸台的进给量 …… 362
4. 硬质合金立铣刀铣削平面和凸台的进给量 …… 363
5. 涂层硬质合金铣刀的铣削用量 … 363
6. 硬质合金及高速钢立铣刀铣削难切削材料及铜、铝合金的切削用量 …… 365
5.2.4 铣削速度 …… 368
1. 一般情况下的铣削速度 …… 368
2. 高速钢圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率 …… 368
3. 高速钢三面刃圆盘铣刀铣削平面及凸台的铣削速度及铣削功率 … 369
4. 高速钢三面刃圆盘铣刀在结构碳钢(R_m = 650MPa)上铣槽的铣削速度及铣削功率 …… 371
5. 高速钢三面刃圆盘铣刀在灰铸铁(190HBW)上铣槽的铣削速度及铣削功率 …… 372
6. 高速钢立铣刀铣削钢件平面及凸台的铣削速度及铣削功率 …… 374
7. 高速钢立铣刀铣削灰铸铁、铜合金平面及凸台的铣削速度及铣削功率 …… 376
8. 高速钢立铣刀在结构碳钢（R_m = 650MPa）上铣槽的铣削速度及铣削功率 …… 378
9. 高速钢立铣刀在灰铸铁(190HBW)上铣槽的铣削速度及铣削功率 … 379
10. 硬质合金圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率…… 381
11. YT15 硬质合金三面刃圆盘铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢（R_m = 650MPa）的铣削速度及铣削功率 …… 382
12. YT15 硬质合金面铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢(R_m = 650MPa)的铣削速度及铣削功率 …… 383
13. YG8 硬质合金面铣刀铣削灰铸铁(190HBW)的铣削速度及铣削功率 …… 384
14. YG8 硬质合金面铣刀铣削可锻铸铁(150HBW)的铣削速度及铣削功率 …… 385
15. YG8 硬质合金面铣刀铣削耐热钢(1Cr18Ni9Ti)的铣削速度及铣削功率 …… 386
5.2.5 钻孔切削用量 …… 387
1. 高速钢钻头钻削不同材料的切削用量 …… 387
2. 硬质合金钻头钻削不同材料的切削用量 …… 388
3. 群钻加工钢件时的切削用量 …… 390
4. 群钻加工铸铁件时的切削用量 … 390
5.2.6 扩孔钻与锪钻的切削用量 …… 391
1. 高速钢及硬质合金扩孔钻的进给量 …… 391
2. 高速钢扩孔钻加工结构碳钢(R_m = 650MPa)时的切削速度…… 391
3. 高速钢扩孔钻加工灰铸铁(190HBW) 时的切削速度 …… 392
4. 硬质合金扩孔钻的切削速度 …… 393
5. 锪钻的切削用量 …… 395
5.2.7 铰孔的切削用量 …… 395
1. 高速钢及硬质合金机用铰刀的进给量 …… 395
2. 高速钢铰刀加工不同材料的切削用量 …… 395
3. 硬质合金铰刀铰孔的切削用量 … 396
5.2.8 镗孔的切削用量 …… 397
5.3 切削液 …… 398
5.3.1 切削液的作用 …… 398
5.3.2 切削液中的添加剂 …… 398
5.3.3 切削液的种类 …… 399
5.3.4 切削液的选择 …… 399
5.3.5 切削液的合理使用方法 …… 399

第6章 公差配合与表面粗糙度

6.1 极限与配合 …… 402
6.1.1 术语和定义 …… 402

6.1.2　国家标准的基本规定 …………… 403
6.1.3　孔、轴的极限偏差与配合 …… 405
6.1.4　一般公差　未注公差的线性和角度尺寸的公差 …………… 434
6.2　几何公差 …………………………… 437
6.2.1　几何公差符号 …………………… 437
6.2.2　几何公差的未注公差值 ……… 438
6.2.3　图样上注出几何公差的规定 … 439
6.2.4　几何误差的测量方法 ………… 443
1. 直线度误差的常用测量方法 …… 443
2. 平面度误差的常用测量方法 …… 443
3. 圆度误差的常用测量方法 ……… 443
4. 轮廓度误差的常用测量方法 …… 443
5. 定向误差的常用测量方法 ……… 443
6. 定位误差的常用测量方法 ……… 443
7. 跳动量的常用测量方法 ………… 450
6.3　表面粗糙度 ……………………… 452
6.3.1　表面粗糙度的评定参数 ……… 452
6.3.2　表面粗糙度的符号与代号 …… 452
6.3.3　各级表面粗糙度的表面特征、加工方法与应用举例 ………… 454
6.3.4　各种加工方法所能达到的表面粗糙度 ………………………… 454
6.3.5　表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系 …………………… 457
6.3.6　表面粗糙度的检测 …………… 457

第7章　零件铣削工艺

7.1　机械加工工艺过程 …………… 462
7.1.1　机械加工工艺过程的组成 …… 462
7.1.2　生产纲领与生产类型 ………… 462
7.1.3　制订机械加工工艺过程的原则和内容 ……………………… 465
7.1.4　零件加工工艺性分析 ………… 465
7.1.5　机械加工工艺路线的制订 …… 469
1. 表面加工方法的选择 …………… 469
2. 加工阶段的划分 ………………… 469
3. 工序的集中与分散 ……………… 471
4. 工序顺序的安排 ………………… 472
5. 基准及其选择 …………………… 473
6. 工艺尺寸链及工艺尺寸计算示例 ………………………………… 478
7.2　改善零件铣削质量的途径与方法 ……………………………… 483
7.2.1　加工尺寸精度及改善措施 …… 484
7.2.2　形状精度及改善措施 ………… 485
7.2.3　位置精度及改善措施 ………… 485
7.2.4　表面粗糙度及其改善措施 …… 486
7.2.5　铣削加工中常见问题的原因及解决方法 …………………… 488
7.3　典型表面铣削工艺 …………… 491
7.3.1　平面铣削 ………………………… 491
1. 垂直面的铣削 …………………… 491
2. 平行面的铣削 …………………… 494
3. 铣削矩形工件 …………………… 495
4. 平面的检验 ……………………… 497
7.3.2　斜面铣削 ………………………… 498
1. 单斜面铣削 ……………………… 498
2. 复合斜面的铣削 ………………… 500
3. 斜面的检验与质量分析 ………… 502
7.3.3　台阶工件的铣削 ……………… 503
1. 用三面刃铣刀铣削台阶 ………… 503
2. 用组合铣刀铣削台阶 …………… 504
3. 用立铣刀铣削台阶 ……………… 504
4. 用面铣刀铣削台阶 ……………… 504
5. 台阶的检测 ……………………… 505
6. 台阶铣削的质量分析 …………… 505
7.3.4　沟槽的铣削 …………………… 505
1. 铣削直角沟槽 …………………… 505
2. 铣削轴上键槽 …………………… 508
3. 铣削V形槽 ……………………… 514
4. 铣削T形槽 ……………………… 518
5. 铣削燕尾槽 ……………………… 519
6. 切断 ……………………………… 520
7.3.5　分度头的工作原理与分度方法 ………………………………… 522
1. 分度头附件 ……………………… 523
2. 分度头的传动与分度方法 ……… 529
7.3.6　铣削外花键 …………………… 550
1. 单刀铣削矩形外花键 …………… 550
2. 用成形铣刀铣削矩形外花键 …… 553
3. 用组合铣刀铣削矩形外花键 …… 554
4. 外花键的检验 …………………… 555

5. 外花键铣削时常见的质量问题及防止方法 …… 555
7.3.7 直齿圆柱齿轮齿形的铣削 …… 556
7.3.8 螺旋槽的铣削 …… 565
1. 交换齿轮的计算与调整 …… 565
2. 工作台旋向的调整 …… 566
3. 铣刀的选择 …… 575
4. 多头螺旋槽的铣削 …… 575
5. 铣削圆柱螺旋槽常见的质量问题及原因分析 …… 576
7.3.9 斜齿圆柱齿轮的铣削 …… 576
7.3.10 齿条的铣削 …… 581
1. 直齿条的铣削 …… 581
2. 斜齿条的铣削 …… 585
7.3.11 直齿锥齿轮的铣削 …… 586
7.3.12 蜗杆、蜗轮的铣削 …… 591
1. 蜗杆的铣削 …… 591
2. 蜗轮的铣削 …… 593
7.3.13 链轮的铣削 …… 600
1. 齿形链链轮的齿形及铣削 …… 600
2. 滚子链和套筒链链轮的齿形及铣削 …… 601
3. 链轮的测量 …… 604
4. 链轮铣削常见的质量问题及原因 …… 606
7.3.14 凸轮的铣削 …… 606
1. 等速圆盘凸轮的铣削 …… 607
2. 等速圆柱凸轮的铣削 …… 610
3. 凸轮铣削常见的质量问题及原因 …… 611
7.3.15 铣床上刻线 …… 611
1. 刻线刀具及其安装 …… 612
2. 刻直尺的尺寸线 …… 612
3. 刻圆柱面、圆锥面上的等分线 …… 613
4. 刻直径较大工件圆周上的径向线条 …… 613
5. 刻线移距的方法 …… 613
7.3.16 牙嵌式离合器的铣削 …… 614
1. 工件的装夹 …… 614
2. 矩形齿离合器的铣削 …… 614
3. 尖齿和锯齿形离合器的铣削 …… 616
4. 梯形齿离合器的铣削 …… 623
5. 螺旋齿离合器的铣削 …… 624
6. 牙嵌式离合器铣削常见的质量问题及原因 …… 625
7.3.17 刀具齿槽的铣削 …… 626
1. 圆柱面直齿刀具齿槽的铣削 …… 626
2. 圆柱螺旋齿刀具齿槽的铣削 …… 628
3. 端面齿槽的铣削 …… 631
4. 锥面直齿刀具齿槽的铣削 …… 633
5. 刀具齿槽铣削中常见的质量问题及原因 …… 635
7.3.18 成形面、椭圆柱面和球面的铣削 …… 636
1. 成形面的铣削 …… 636
2. 椭圆柱面的铣削 …… 639
3. 球面的铣削 …… 640
7.3.19 钻、扩、铰孔与镗孔 …… 644
1. 钻孔 …… 644
2. 扩孔 …… 655
3. 铰孔 …… 656
4. 镗孔 …… 662
7.4 提高铣削生产率的工艺途径 …… 666
7.4.1 劳动生产率与时间定额 …… 666
7.4.2 提高铣削生产率的技术措施 …… 668
1. 改善零件铣削加工的结构工艺性 …… 668
2. 合理选择加工余量 …… 668
3. 合理采用先进夹具 …… 668
4. 使辅助时间与机动时间重合 …… 668
5. 其他缩短辅助时间的方法 …… 669
6. 缩短机动时间的方法 …… 669
7. 采用先进技术及设备 …… 672

第 8 章 难切削材料的铣削

8.1 难切削材料的可切削性 …… 674
8.2 难切削材料的性能与切削特点 …… 675
8.3 高强度钢的铣削 …… 676
8.4 高锰钢的铣削 …… 678
8.5 不锈钢的铣削 …… 679

8.6　高温合金的铣削 …………………… 681
8.7　钛合金的铣削 …………………… 682
8.8　热喷涂层的铣削 …………………… 685
1. 喷涂层切削加工的特点 ………… 685
2. 热喷涂层平面的铣削 …………… 685
8.9　冷硬铸铁的铣削 …………………… 686
1. 刀具材料的选择 ………………… 686
2. 刀具几何角度的选择 …………… 686
3. 切削用量的选择 ………………… 686
8.10　纯铜的铣削 ……………………… 687
1. 纯铜的切削特点 ………………… 687
2. 刀具材料的选择 ………………… 687
3. 铣刀几何角度的选择 …………… 687
4. 铣削速度的选择 ………………… 687
8.11　铝合金的铣削 …………………… 687
1. 铝合金及其铣削特点 …………… 687
2. 铣刀材料及几何角度的选择 …… 687
3. 铣削速度及切削液的选择 ……… 687
8.12　镁合金的铣削 …………………… 687
1. 镁合金的铣削特点 ……………… 687
2. 刀具材料的选择 ………………… 688
3. 镁合金铣刀及其几何参数 ……… 688
4. 铣削用量的选择 ………………… 688

附　录

附录A　切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组 ………………………………… 689
附录B　常用几何图形的面积计算 ………………………………… 690
附录C　常用几何体的体积和表面积的计算 …………………… 692
参考文献 ………………………………… 696

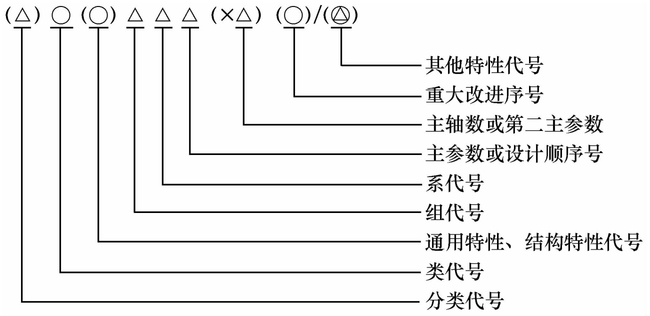
第 1 章　铣　　床

1.1　铣床的型号及编制方法

铣床是广泛应用于机械制造业中的金属切削机床。金属切削机床的类别、型式很多，为了便于设计、制造、使用和管理，给每一种机床一个代号（即型号），用来简明地表示机床的类别、性能、主要技术参数和结构特征等。

1.1.1　通用机床型号表示方法

根据 GB/T 15375—2008《金属切削机床型号编制方法》规定，机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字按一定规律排列组成，分为基本部分和辅助部分，中间用“/”隔开，读作“之”。机床型号的表示方法如下：



其中，①有“（）”的代号或数字，当无内容时则不表示，若有内容则不带括号。

②有“○”符号者，为大写的汉语拼音字母。

③有“△”符号者，为阿拉伯数字。

④有“◎”符号者，为大写的汉语拼音字母或阿拉伯数字，或两者兼有之。

1.1.2　机床的分类及类代号

机床按其工作原理、结构性能特点及使用范围分类，包括车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、锯床和其他机床共 11 类。机床的类别代号用大写的汉语拼音字母表示。铣床的代号是“X”，读作“铣”。机床的类别和分类代号见表 1-1。

表 1-1　机床的类别和分类代号

类别	车床	钻床	镗床	磨床			齿轮加工机床	螺纹加工机床	铣床	刨插床	拉床	锯床	其他机床
代号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S	X	B	L	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	二磨	三磨	牙	丝	铣	刨	拉	割	其

1.1.3　机床的特性代号

机床的特性代号包括通用特性代号和结构特性代号，用大写的汉语拼音字母表示，位于类别代号之后。

1. 通用特性代号

当某类型机床（普通型）还具有某种通用特性时，则在类别代号之后加上通用特性代号予以区别。机床的通用特性代号见表 1-2。

表1-2 机床的通用特性代号

通用特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心（自动换刀）	仿形	轻型	加重型	简式或经济型	柔性加工单元	数显	高速
代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	C	J	R	X	S
读音	高	密	自	半	控	换	仿	轻	重	简	柔	显	速

2. 结构特性代号

对主参数值相同而结构、性能不同的机床，用结构特性代号予以区别。结构特性代号与通用特性代号不同，它没有统一的含义，同一字母在不同机床的含义可能不一样。当型号中有通用特性代号时，结构特性代号应排在通用特性代号之后。通用特性代号已用的字母和“I、O”两个字母均不能用于结构特性代号。

1.1.4 机床的组、系代号

每类机床划分为10个组，每组又划分为10个系，用阿拉伯数字表示，位于类代号或通用特性代号之后。铣床的统一名称和组、系划分及主参数表示方法见表1-3。

表1-3 铣床的统一名称和组、系划分及主参数表示方法

组		系		主参数	
代号	名称	代号	名称	折算系数	名称
0	仪表铣床	0	—	—	—
		1	台式工具铣床	1/10	工作台面宽度
		2	台式车铣床	1/10	工作台面宽度
		3	台式仿形铣床	1/10	工作台面宽度
		4	台式超精铣床	1/10	工作台面宽度
		5	立式台铣床	1/10	工作台面宽度
		6	卧式台铣床	1/10	工作台面宽度
		7	—	—	—
		8	—	—	—
		9	—	—	—
1	悬臂及滑枕铣床	0	悬臂铣床	1/100	工作台面宽度
		1	悬臂镗铣床	1/100	工作台面宽度
		2	悬臂磨铣床	1/100	工作台面宽度
		3	定臂铣床	1/100	工作台面宽度
		4	—	—	—
		5	—	—	—
		6	卧式滑枕铣床	1/100	工作台面宽度
		7	立式滑枕铣床	1/100	工作台面宽度
		8	—	—	—
		9	—	—	—
2	龙门铣床	0	龙门铣床	1/100	工作台面宽度
		1	龙门镗铣床	1/100	工作台面宽度
		2	龙门磨铣床	1/100	工作台面宽度
		3	定梁龙门铣床	1/100	工作台面宽度
		4	定梁龙门镗铣床	1/100	工作台面宽度
		5	—	—	—
		6	龙门移动铣床	1/100	工作台面宽度
		7	定梁龙门移动铣床	1/100	工作台面宽度
		8	落地龙门镗铣床	1/100	工作台面宽度
		9	—	—	—

（续）

组		系		主参数	
代号	名称	代号	名称	折算系数	名称
3	平面铣床	0	圆台铣床	1/100	工作台面直径
		1	立式平面铣床	1/100	工作台面宽度
		2	—	—	—
		3	单柱平面铣床	1/100	工作台面宽度
		4	双柱平面铣床	1/100	工作台面宽度
		5	端面铣床	1/100	工作台面宽度
		6	双端面铣床	1/100	工作台面宽度
		7	—	—	—
		8	落地端面铣床	1/100	最大铣轴垂直移动距离
		9	—	—	—
4	仿形铣床	0	—	—	—
		1	平面刻模铣床	1/10	缩放仪中心距
		2	立体刻模铣床	1/10	缩放仪中心距
		3	平面仿形铣床	1/10	最大铣削宽度
		4	立体仿形铣床	1/10	最大铣削宽度
		5	立式立体仿形铣床	1/10	最大铣削宽度
		6	叶片仿形铣床	1/10	最大铣削宽度
		7	立式叶片仿形铣床	1/10	最大铣削宽度
		8	—		—
		9	—		—
5	立式升降台铣床	0	立式升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		1	立式升降台镗铣床	1/10	工作台面宽度
		2	摇臂铣床	1/10	工作台面宽度
		3	万能摇臂铣床	1/10	工作台面宽度
		4	摇臂镗铣床	1/10	工作台面宽度
		5	转塔升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		6	立式滑枕升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		7	万能滑枕升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		8	圆弧铣床	—	—
		9	—	—	—
6	卧式升降台铣床	0	卧式升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		1	万能升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		2	万能回转头铣床	1/10	工作台面宽度
		3	万能摇臂铣床	1/10	工作台面宽度
		4	卧式回转头铣床	1/10	工作台面宽度
		5	广用万能铣床	1/10	工作台面宽度
		6	卧式滑枕升降台铣床	1/10	工作台面宽度
		7	—	—	—
		8	—	—	—
		9	—	—	—
7	床身铣床	0	—	—	—
		1	床身铣床	1/100	工作台面宽度
		2	转塔床身铣床	1/100	工作台面宽度
		3	立柱移动床身铣床	1/100	工作台面宽度
		4	立柱移动转塔床身铣床	1/100	工作台面宽度
		5	卧式床身铣床	1/100	工作台面宽度
		6	立柱移动卧式床身铣床	1/100	工作台面宽度
		7	滑枕床身铣床	1/100	工作台面宽度
		8	—	—	—
		9	立柱移动立卧式床身铣床	1/100	工作台面宽度

（续）

组		系		主参数	
代号	名称	代号	名称	折算系数	名称
8	工具铣床	0	—	—	—
		1	万能工具铣床	1/10	工作台面宽度
		2	—	—	—
		3	钻头铣床	1	最大钻头直径
		4	—	—	—
		5	立铣刀槽铣床	1	最大铣刀直径
		6	—	—	—
		7	—	—	—
		8	—	—	—
		9	—	—	—
9	其他铣床	0	六角螺母槽铣床	1	最大六角螺母对边宽度
		1	曲轴铣床	1/10	刀盘直径
		2	键槽铣床	1	最大键槽宽度
		3	—	—	—
		4	轧辊轴颈铣床	1/100	最大铣削直径
		5	—	—	—
		6	—	—	—
		7	转子槽铣床	1/100	最大转子本体直径
		8	螺旋桨铣床	1/100	最大工件直径
		9	—	—	—

1.1.5 机床的主参数

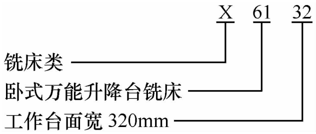
机床型号中的主参数代号一般采用主参数的实际数值或主参数的1/10和1/100折算值表示，位于系代号之后。当折算值大于1时，主参数代号取整数，在折算值之前均不加“0”；当折算值小于1时，则取小数后的第一位数，并在数字前加“0”。

1.1.6 机床重大改进顺序号

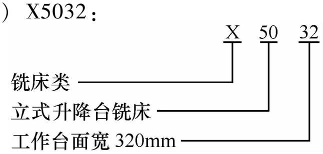
当对机床的结构、性能有更高的要求，并需按新产品重新设计、试制和鉴定时，才按改进的先后顺序，即按A、B、C、……字母顺序加在型号的尾部（但“I、O”两个字母不得选用），以区别于原机床型号。如X6132A是X6132型经过第一次重大改进的卧式万能升降台铣床。

1.1.7 铣床型号示例

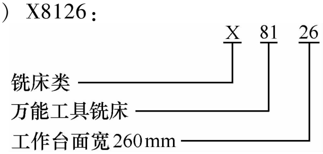
（1）X6132：



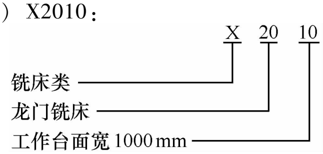
（2）X5032：



（3）X8126：



（4）X2010：



1.2 常用铣床的型号与技术参数

常用铣床的型号及技术参数见表1-4～表1-7。

表 1-4　卧式升降台铣床的型号与技术参数

名称	型　号	工作台台面尺寸（宽×长）/mm	技　术　参　数							工 作 精 度		电动机功率/kW		重量/t		外形尺寸（长×宽×高）/mm
			主轴轴线至工作台面距离/mm	工作台中心线至垂直导轨面距离/mm	工作台最大行程/mm			主轴转速/(r/min)		平面度/mm	表面粗糙度 *Ra*/μm	主电动机	总容量			
					纵向机/手	横向机/手	垂向机/手	级数	范围							
卧式升降台铣床	X6012	125×500	0～250	110～210	250	100	125	9	120～1830	0.02/150	2.5	1.5	1.625	0.61		835×870×1633
	X083	140×400	0～130	—	160	185	130	1	2670	0.2/400	3.2	1.5	1.5	0.37		930×680×1235
	X6025A	250×1200	40～400	120～320	550/570	200	360	8	50～1250	0.02/300	1.6	2.2	2.79	—	1	1445×1560×1372
	X6025	250×1100	10～430	145～425	680/700	260/280	400/420	18	32～1600	0.02/300	2.5	4	5.14	2.57	1.975	1770×1670×1600
	X6030	300×1100	10～430	160～430	680/700	250/270	400/420	18	32～1600	0.02/300	2.5	4	5.14	2.6	2	1770×1670×1600
	XD6032	320×1325	30～420	215～470	680/700	240/255	370/390	18	30～1500	0.02/100	2.5	7.5	9.09	2.65	—	2282×1770×1700
	XA6040A	400×1700	30～470	255～570	900	315	125	18	30～1500	0.02/300	2.5	11	14.495	—	4.25	2570×2326×1925
	X755	500×2000	80～680	550	1400	500	600	18	25～1250	0.03/500	1.6	11	14.55	—	6.5	2830×2650×2650

表 1-5　万能升降台铣床的型号与技术参数

名称	型号	工作台台面尺寸（宽×长）/mm	主要技术参数								工作精度		电动机功率/kW		重量/t	外形尺寸（长×宽×高）/mm	备注
			工作台最大回转角度/(°)	主轴轴线至工作台面距离/mm	工作台中心线至垂直导轨面距离/mm	工作台最大行程/mm			主轴转速/(r/min)								
						纵向机/手	横向机/手	垂向机/手	级数	范围	平面度/mm	表面粗糙度 Ra/μm	主电动机	总容量			
轻型万能铣床	XQ6125	250×1100	±45	40~410	160~395	630	235	370	9	35~750	0.02/100	2.5	3	3.61	1.55	2180×1400×1635	—
万能升降台铣床	XQ6132	320×1320	±45	70~480	190~490	800	300	410	9	35~750	0.02/100	2.5	4	4.81	2	2380×1785×1780	立铣头左右转45°，套筒可机动进给，伸臂水平转
	X6130A	300×1150	±45	20~420	175~410	680	235	400	12	35~1600	0.02	2.5	4	4.75	3	1695×1535×1630	
	XD6132	320×1325	±45	30~380	215~470	680/700	240/255	330/350	18	30~1500	0.02/100	2.5	7.5	9.09	2.7	2282×1770×1700	
	XA6140A	400×1700	±45	30~455	255~570	900	315	425	18	30~1500	0.02/300	2.5	11	14.495	1.35	2570×2326×1950	
	X6142	425×2000	—	80~450	—	1200/1210	360~370	360/370	20	18~1400	0.02/150	1.6	11	14.175	5.3	2785×2793×1950	
卧式万能升降台铣床	X6125	250×1100	—	10~410	145~425	680/700	260~280	390~400	18	32~1600	0.02/300	2.5	4	5.225	2.6	1770×1670×1600	—
	X6130	300×1100	—	10~410	160~430	680/700	250~270	390~400	18	32~1600	0.02/300	2.5	4	5.225	2.6	1770×1670×1600	—

表 1-6　立式升降台铣床的型号与技术参数

名称	型　号	工作台台面尺寸（宽×长）/mm	技术参数：立铣头最大回转角度/(°)	技术参数：主轴端面至工作台台面距离/mm	技术参数：主轴轴线至垂直导轨面距离/mm	技术参数：工作台最大行程/mm 纵向 机/手	技术参数：工作台最大行程/mm 横向 机/手	技术参数：工作台最大行程/mm 垂向 机/手	技术参数：主轴转速/(r/min) 级数	技术参数：主轴转速/(r/min) 范围	工作精度：平面度/mm	工作精度：表面粗糙度 Ra/μm	电动机功率/kW 主电动机	电动机功率/kW 总容量	重量/t	外形尺寸（长×宽×高）/mm
立式升降台铣床	X5012	125×500	±45	0～250	155	255	100	250	9	120～130	0.02/150	2.5	1.5	1.625	0.6	853×870×1633
	X5020B	200×900	45	10	265	500	190	360	8	60～1650	0.02/300	2.5	3	3.79	1	1700×1300×1650
	X5030A	300×1150	±45	40～410	175～410	680	235	400	12	35～1600	0.02	2.5	4	4.75	3	1693×1535×1868
	X5032	320×1320	±45	60～410	350	680/700	240/255	330/350	18	30～1500	0.02/100	1.6	7.5	9.125	2.8	2294×1770×1904
	B_1-400K	400×1600	±45	30～500	450	900	315	385	18	30～1500	0.02/300	2.5	11	14.125	4.25	2256×2159×2298
	X5042A	425×2000	—	0～490	—	1180/1200	400/410	450/460	20	18～1400	0.02/150	1.6	—	14.175	5.1	2435×2600×2500
立式铣床	X715	500×2000	—	80～680	550	1400	500	600	18	25～1250	0.03/500	1.6	11	14.55	6.5	2830×2635×2650

表 1-7 万能工具铣床的型号与技术参数

名称	型号	工作台台面尺寸（宽×长）/mm	主要技术参数									工作精度/mm					电动机功率/kW		重量/t	外形尺寸（长×宽×高）/mm
			铣头回转角度/(°)	卧轴轴线至工作台面距离/mm	立铣头端面至工作台面距离/mm	主轴轴线至垂直导轨面距离/mm	工作台最大行程/mm			主轴转速/(r/min)		铣削			镗孔					
							纵向	横向	垂向	级数	范围	平面度/mm	等高度	垂直度	圆度	轴线垂直度	主电动机	总容量		
万能工具铣床	X8125	250×700	±90	85～485	55～455（主轴）	140～395	365	255	400	18	40～2000	—	0.025/100	0.015/100	0.015	0.01/100	1.5	2.89	1.2	1215×1200×1800
	X8126A	270×700	±45	30～360	0～265	155	300	200	330	8	水平：110～1230 垂直：150～1660	—	0.025	0.015/100	0.015	0.01/100	3.0	3.09	0.96	1125×1380×1650
	X8128	280×700	±45	35～365	0～285	155～355	350	200	350	8	150～1660	0.02/300	—	—	—	—	3	3.1	1.2	1080×1110×1650
	X8130	300×750	±60	35～415	65～445（主轴）	80～660	405	200	390	12	40～1600	0.02/300	0.025/100	0.015/100	0.015	0.01/100	2.2	2.875	1.05	985×1195×1630
	X8132A	320×750	±90	30～430	0～400	170	400	300	400	18	40～2000	0.02/300	0.025	0.015/100	0.015	0.01/100	2.2	3.04	1.3	1500×1255×1700
	X8140	400×800	±90	85～485	55～455（主轴）	139～544	505	405	400	18	40～2000	0.02/300	0.025/100	0.015/100	0.015	0.01/100	3	4.94	1.6	1383×1427×1817
	X8150B	500×900	±90	90～540	150～600	135～535	600	400	450	无	40～4000	0.02/300	—	—	—	—	4	6.2	3.5	1580×1660×1850

1.3 卧式万能升降台铣床的结构与传动系统

铣床的工艺范围广泛，主要用于加工平面（水平面、垂直面、斜面）、沟槽（键槽、T形槽、燕尾槽等）和多种成形表面（齿形、链轮、花键轴、螺纹、螺旋槽等），此外，还可以加工内孔、回转体表面及进行切断等工作。

1.3.1 X6132型卧式万能升降台铣床主要组成部分的名称和用途

图1-1所示为X6132型卧式万能升降台铣床的外形图。其主要组成部分的名称和用途如下：

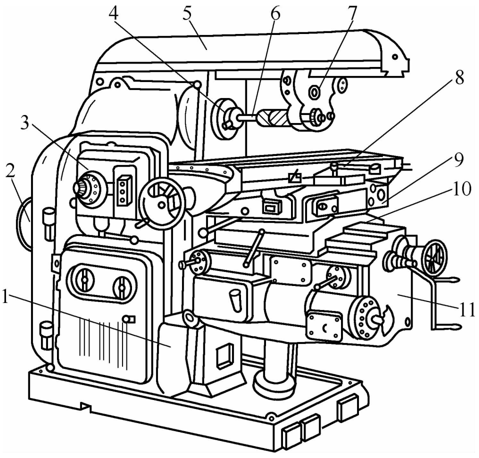


图1-1 X6132型卧式万能升降台铣床的外形图

1—床身 2—电动机 3—主轴变速机构 4—主轴 5—横梁 6—刀杆 7—吊架 8—纵向工作台 9—转台 10—横向滑座 11—升降台

（1）床身 床身用来安装和连接机床的其他部件。床身上有垂直导轨，用来引导升降台上下移动；顶部有燕尾形水平导轨，用来安装横梁并引导横梁沿水平方向移动；床身内装有主轴和主轴变速机构。

（2）电动机 电动机功率为7.5kW，转速为1450r/min，是驱动铣床主轴作旋转运动的主电动机。

（3）主轴变速机构 主轴变速机构安装在床身内，其作用是将主电动机的额定转速（1450r/min）通过齿轮变速，获得多级转速，以满足不同铣削加工的要求。

（4）主轴 主轴是前端带锥孔的空心轴，锥孔的锥度为7∶24，用来安装铣刀杆和铣刀。主电动机输出的回转运动经过主轴变速机构，驱动主轴和铣刀一同回转，从而实现主运动。

（5）横梁 横梁可沿床身顶部燕尾形导轨移动，并可按需要调节其伸出的长度。横梁上可安装吊架。

（6）刀杆 刀杆用来安装铣刀，对工件进行铣削加工。

（7）吊架 吊架安装在横梁上，用以支承刀杆的外端，防止刀杆变形。

（8）纵向工作台 工作台主要用来安装铣床夹具或工件，工作台上面有T形槽供螺钉连接使用，工作台可带动工件实现纵向进给运动。

（9）转台 转台位于纵向工作台和横向滑座之间，可使纵向工作台在水平面内作±45°范围内的转动。

（10）横向滑座 铣削加工时，横向滑座用来带动工作台实现横向进给运动。

（11）升降台 升降台与床身以矩形导轨、压板结构相连接，升降台内部装有能完成升降台上、下移动的进给电动机和进给变速机构。

1.3.2 X6132型卧式万能升降台铣床的性能、特点与主要技术参数

（1）X6132型卧式万能升降台铣床的性能与特点 X6132型卧式万能升降台铣床的工艺范围广，适宜对中、小型工件进行各种铣削加工。它具有功率大、转速高、变速范围宽、刚性好、操作方便灵活、通用性强等特点，还可进行高速切削和强力切削。它在结构上具有以下特点：

1）操纵机床工作台的机动进给操纵手柄时，指示的方向就是工作台进给运动的方向，故操作时不易产生错误。机床的前面和左侧各有一组按钮和手柄，这种复式操作装置可使操作者在不同位置进行操作。

2）机床采用速度预选机构来改变主轴转

速和工作台的进给速度，使操作简便。

3）机床工作台可以在水平面内作±45°的转动，以便于进行各种螺旋槽的铣削。

4）机床工作台的纵向传动丝杠上有双向螺母间隙调整机构，故机床既能进行逆铣又能进行顺铣。

5）机床工作台有快速进给运动装置，用按钮操纵，方便省时。

6）机床采用转速控制继电器进行制动，能使主轴迅速停止转动。

（2）X6132型卧式万能升降台铣床的主要技术参数 X6132型卧式万能升降台铣床的主要技术参数见表1-8。

表1-8 X6132型卧式万能升降台铣床的主要技术参数

工作台台面尺寸（宽×长）	320mm×1250mm
工作台最大行程 纵向（手动/机动） 横向（手动/机动） 垂直（手动/机动）	 700mm/680mm 255mm/240mm 320mm/300mm
工作台进给速度 纵向 横向 垂直	（各18级） 23.5～1180mm/min 23.5～1180mm/min 8～394mm/min
工作台快速移动速度 纵向 横向 垂直	 2300mm/min 2300mm/min 770mm/min
工作台最大回转角度	±45°
工作台T形槽（宽度×距离×条数）	18mm×70mm×3
主轴孔锥度	7:24
主轴轴线至工作台面间距离 最大 最小 主轴轴线至悬梁的距离	 350mm 30mm 155mm
床身垂直导轨至工作台中心的距离 最大 最小	 470mm 215mm
主轴转速（18级）	30～1500r/min
主电动机参数（功率×转速）	7.5kW×1450r/min
进给电动机参数（功率×转速）	1.5kW×1450r/min
最大载重量	500kg
机床工作精度 加工平面的平面度 加工平面的平行度 加工平面的垂直度 表面粗糙度	 （0.02/150）mm （0.02/150）mm （0.02/150）mm $Ra1.6\mu m$

1.3.3 X6132型卧式万能升降台铣床的传动系统

X6132型卧式万能升降台铣床的传动系统见图1-2，它由主轴传动系统和进给变速传动系统组成。

（1）主轴传动系统 主轴传动系统（主运动链）的功能是将主电动机的回转运动传递到主轴，实现主轴的回转运动。由图1-2可知，主电动机轴以1450r/min的转速旋转，经弹性联轴器与轴Ⅰ连接，轴Ⅰ可获得与电动机轴相同的转速。轴Ⅰ通过齿数比为$\frac{26}{54}$的固定齿轮副，使轴Ⅱ获得一种较低的转速（$1450r/min\times\frac{26}{54}=698.15r/min$）。轴Ⅱ上有一个三联滑移齿轮，改变三联滑移齿轮的位置，使之与轴Ⅲ上的三个固定齿轮中的一个啮合，带动轴Ⅲ转动。啮合后的齿数比分别为$\frac{22}{33}$、$\frac{19}{36}$、$\frac{16}{39}$，可以使轴Ⅲ获得三种不同的转速。轴Ⅲ上的三个固定齿轮与轴Ⅳ上的三联滑移齿轮对应啮合（齿数比分别为$\frac{39}{26}$、$\frac{28}{37}$、$\frac{18}{47}$），使轴Ⅳ获得$3\times3=9$种不同的转速。轴Ⅳ的右端有一对双联滑移齿轮，与轴Ⅴ上的两个固定齿轮对应啮合（齿数比分别为$\frac{82}{38}$、$\frac{19}{71}$），使主轴Ⅴ获得$9\times2=18$级转速。主轴传动的结构式如下：

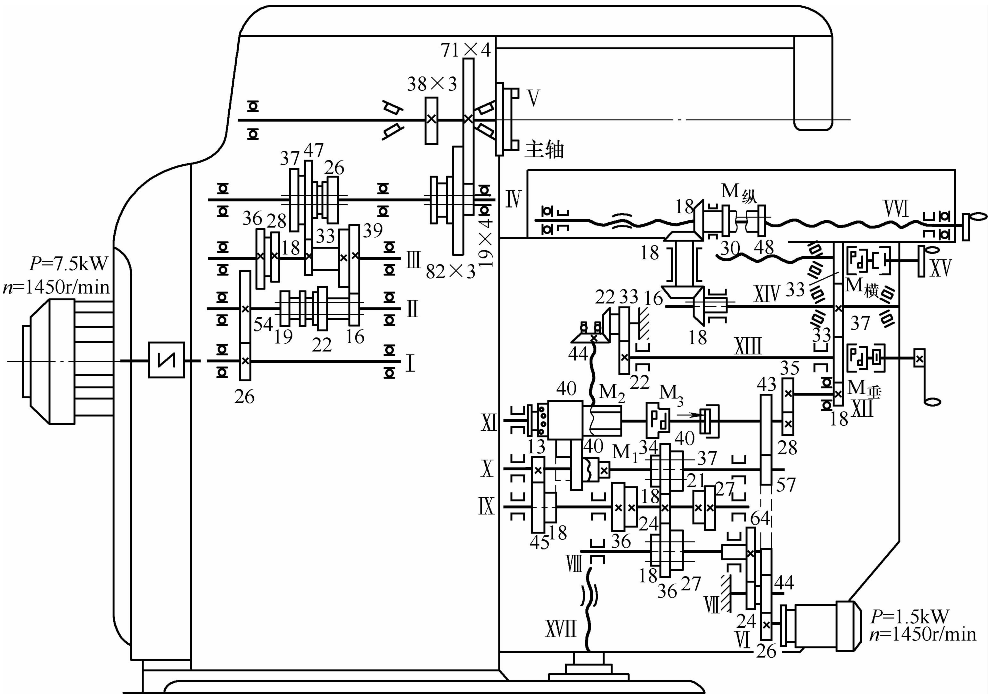


图 1-2 X6132 型卧式万能升降台铣床的传动系统

$$n_{\text{主电动机}}\text{—轴 Ⅰ—}\frac{26}{54}\text{—轴 Ⅱ—}\begin{Bmatrix}\frac{22}{33}\\ \frac{19}{36}\\ \frac{16}{39}\end{Bmatrix}\text{—轴 Ⅲ—}\begin{Bmatrix}\frac{39}{26}\\ \frac{28}{37}\\ \frac{18}{47}\end{Bmatrix}\text{—轴 Ⅳ—}\begin{bmatrix}\frac{82}{38}\\ \frac{19}{71}\end{bmatrix}\text{—轴 Ⅴ（主轴）}$$

X6132 型铣床主轴转向的改变是靠改变主电动机的转向实现的。

（2）进给传动系统 进给传动系统又称进给传动链。X6132 型铣床的进给运动有工作台纵向、横向进给运动和升降台的垂直方向进给运动，可实现手动、机动和快速进给。

进给运动的传动系统由进给电动机（功率 $P=1.5\text{kW}$，转速 $n=1450\text{r/min}$）经齿数比为$\frac{26}{44}$、$\frac{24}{64}$的两对齿轮副将运动传给轴Ⅷ，再经过轴Ⅷ、轴Ⅹ上两个三联滑移齿轮分别与轴Ⅸ上的齿轮啮合，使轴Ⅹ得到 9 种不同的转速。当轴Ⅹ上的空套齿轮（$z=40$）与离合器 M_1 结合时，轴Ⅹ的 9 种转速经齿数比为$\frac{40}{40}$的齿轮副和离合器 M_2 传至轴Ⅺ，使轴Ⅺ获得 9 种较快的转速；当轴Ⅹ上的空套齿轮（$z=40$）与离合器 M_1 脱开，并与轴Ⅸ左端的双联滑移齿轮中的齿轮（$z=18$）啮合时，轴Ⅹ的 9 种转速则经齿数比为$\frac{13}{45}$、$\frac{18}{40}$、$\frac{40}{40}$的三对齿轮副和离合器 M_2 传至轴Ⅺ，可使轴Ⅺ获得 9 种较慢的转速。轴Ⅺ的运动经齿数比为$\frac{28}{35}$、$\frac{18}{33}$、$\frac{33}{37}$的齿轮副和离合器 $M_{纵}$、$M_{横}$、$M_{垂}$，分别传给纵向、横向和垂直方向运动的传动丝杠，使工作台获得三个方向的进给运动。三个方向进给运动的速度均为 $3\times3\times2=18$ 种。纵向、横向进给速度的范围为 23.5～1180mm/min；垂直方向进给速度只有纵向进给速度的 1/3，范围为 8～394mm/min。

进给运动的传动结构式为

$$\text{进给电动机}-\text{VI}-\frac{26}{44}-\text{VII}-\frac{24}{64}-\text{VIII}-\left\{\begin{matrix}\frac{36}{18}\\ \frac{27}{27}\\ \frac{18}{40}\end{matrix}\right\}-\text{IX}-\left\{\begin{matrix}\frac{24}{34}\\ \frac{21}{37}\\ \frac{18}{40}\end{matrix}\right\}-\text{X}-\left\{\begin{matrix}M_1-\frac{40}{40}\\ \frac{13}{45}-\frac{18}{40}-\frac{40}{40}\end{matrix}\right\}-M_2-\text{XI}-$$

（VII 至 XI 之间另一路：$\frac{44}{57}-\frac{57}{43}-M_3$（快速移动））

$$\frac{28}{35}-\text{XII}-\left\{\begin{matrix}\frac{18}{33}-\frac{33}{37}\text{XIV}-\frac{18}{16}-\frac{18}{18}-M_{纵}-\text{XIV}-\text{纵向进给丝杠}\ (P=6\text{mm})\\ \frac{18}{33}-\frac{33}{37}-\text{XIV}-\frac{37}{33}-M_{横}-\text{XV}-\text{横向进给丝杠}\ (P=6\text{mm})\\ \frac{18}{33}-M_{垂}-\text{XIII}-\frac{22}{33}-\frac{22}{44}-\text{XVII}-\text{垂向进给丝杠}\ (P=6\text{mm})\end{matrix}\right.$$

铣床的纵向、横向、垂直方向的进给运动是分别通过接通 $M_{纵}$、$M_{横}$、$M_{垂}$ 三个离合器来实现。当手柄接通其中的一个离合器时，也就同时接通了进给电动机的电气开关，得到正、反方向的进给运动，并且这三个方向是互锁的，不能同时接通。

当工作台某一方向的进给运动需要快进时，可将手柄推向该方向，并按下“快速”按钮，安装在升降台左下侧的一个强力电磁铁将接通，电磁铁牵动一系列杠杆，使轴Ⅺ离合器 M_2 向右移动（脱开），通过摩擦离合器 M_3 接通轴Ⅺ右端的齿轮（$z=43$）。此时，进给电动机轴上的齿轮（$z=26$）将运动经过中间齿轮（$z=44$ 和 $z=57$）传到轴Ⅺ右端的齿轮（$z=43$），再由 M_3 带动轴Ⅺ，该轴最右端齿轮（$z=28$）快速转动。

1.4 X6132型卧式万能升降台铣床变速系统的结构与操纵机构

1.4.1 X6132型铣床主轴变速箱的传动系统结构与操纵机构

（1）X6132型铣床主轴变速箱的传动系统结构（见图1-3） 主轴变速箱位于床身的上

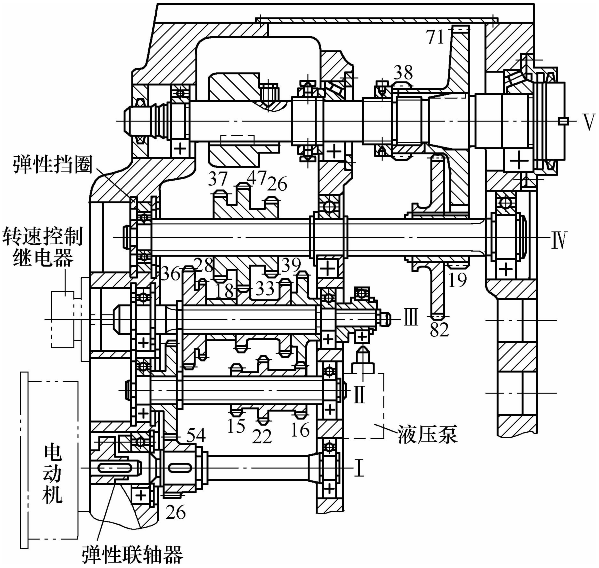


图1-3 X6132型铣床主轴变速箱的传动系统结构

半部，主电动机安装在床身的后面，通过弹性联轴器与轴Ⅰ相接，在工作时能吸收振动等冲击。轴Ⅱ、轴Ⅳ上的滑移齿轮均靠拨叉拨动，使其与相应的齿轮啮合，实现主轴转速的变换。轴Ⅲ的右端装有一带动柱塞式润滑油泵的偏心轮（润滑油泵装在轴Ⅱ的右端），用来润滑变速箱内的轴承、齿轮等零部件；轴Ⅲ的左端装有制动主轴的转速控制继电器，当按下“停止”按钮时，可使主轴立即停止转动。

主轴（图 1-3 中的轴Ⅴ）有较高的精度，是主轴箱内最重要的部件，用三个滚动轴承支承。其中，主轴前轴承是决定主轴几何精度和运动精度的主要轴承，故采用精度等级较高的圆锥滚子轴承。由于主轴的直径较大，轴承之间的距离较短，故主轴的刚度和抗振性较好。

主轴中、后轴承间装一飞轮，用以在铣削过程中储存和释放能量，减小振动，使主轴回转均匀和铣削平稳。特别是在用齿数较少的铣刀铣削时，飞轮的作用尤为明显。也有的铣床通过增大装在主轴右端大齿轮（$z=71$）的重量来代替飞轮的作用，则主轴上就不再另装飞轮。

（2）主轴变速箱的操纵机构（见图 1-4）机床主轴的 18 种转速是通过三个拨叉操纵改变三个滑移齿轮的轴向位置，从而变换轮系中啮合齿轮副的方法来实现的。其中，轴Ⅱ上的三联滑移齿轮由拨叉 14 拨动，轴Ⅳ上的三联滑移齿轮由拨叉 13 拨动，轴Ⅳ右端的双联滑移齿轮则由拨叉 12 拨动。这三个拨叉由变速操纵机构集中进行操纵。

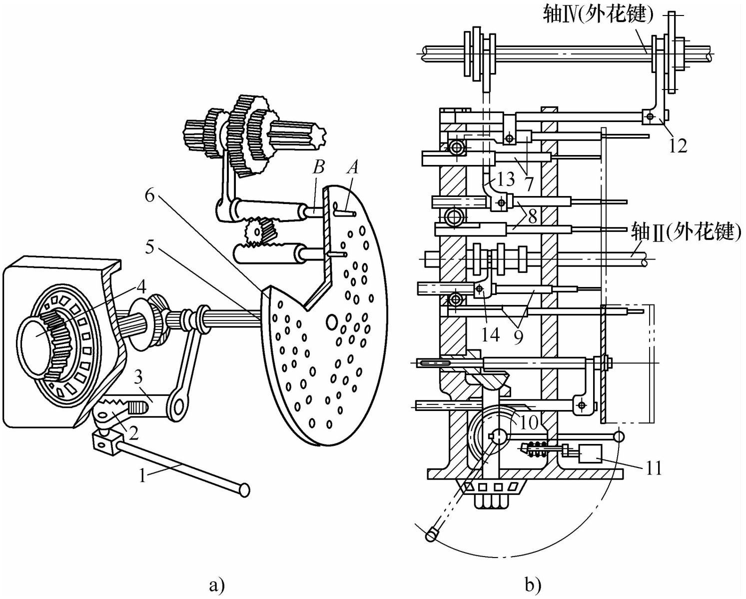


图 1-4　X6132 型铣床主轴变速箱的操纵机构

a）原理图　b）三对齿条杆分布图

1—手柄　2—扇形齿轮　3—齿条轴　4—转速盘　5—轴

6—变速孔盘　7、8、9—齿条杆　10—凸轮　11—微动开关

12、13、14—拨叉

变速时，先将手柄 1 向下压，再转动手柄，使固定在手柄轴上的扇形齿轮 2 转动，带动齿条轴 3 向右移动。齿条轴右端的拨叉将轴 5 及固定在轴 5 上的变速孔盘 6 一起向右移动，使与变速孔盘 6 的孔眼相配合的齿条杆全部脱离。这时，转动转速盘 4，通过锥齿轮副使轴 5 和变速孔盘 6 旋转，使所需转速对准箭头所指的位置。

在变速孔盘 6 的不同直径圆周上，钻有不同直径的两种孔，并按规律分若干排排列。这些定位孔分别供齿条杆 7、8、9 右端的销子插入，销子是两个不同直径 *A* 和 *B* 的台阶销。齿

条杆7、8、9为三组，每组有两根齿条杆，上端齿条杆装有拨叉，即拨叉12、13、14，分别拨动轴Ⅳ、轴Ⅱ上的滑动齿轮。

1）齿条杆9及8的位置：变速孔盘上只有一个大孔与下面的齿条杆9对应，当孔盘向左推动时，下面的齿条杆上的销子A、B全部插入变速孔盘的大孔中，上面带有拨叉14的齿条杆被推到最左位置；而当变速孔盘上只有一个大孔与上面的齿条杆9对应时，孔盘向左推动时，上面带有拨叉14的齿条杆因销子A、B全部插入变速孔盘的大孔中而留在最右位置，被推到最左位置的是下面的齿条杆。在图中齿条杆8的位置，变速孔盘上有两个小孔与齿条杆对应，因而只有两个A销能插入孔盘的小孔中，使拨叉13处在中间位置。这样三种状态使轴Ⅱ、轴Ⅳ上的三联齿轮可处于三个不同的位置。

2）齿条杆7的位置：孔盘上只有一个大孔与上面的齿条杆对应，当孔盘向左推动时，上面的齿条杆上的A销和B销全部插入孔盘的大孔中，下面未带拨叉12的齿条杆被推到最左位置。反之，当孔盘上只有一个大孔与下面的齿条杆对应，孔盘向左推动时，则上面带有拨叉12的齿条杆将被推到最左位置。因此，拨叉12拨动轴Ⅳ上的双联齿轮具有两种不同的位置。

转速盘4选定转速后，扳回手柄1，通过扇形齿轮2、齿条轴3及拨叉，使轴5和变速孔盘6自右向左移回原位，则变速孔盘推动三组齿条杆7、8、9，连同拨叉12（拨动$z=82$、$z=19$双联齿轮）、拨叉13（拨动$z=37$、$z=47$、$z=26$三联滑移齿轮）和拨叉14（拨动$z=19$、$z=22$、$z=16$三联滑移齿轮）使三组滑移齿轮向左或向右移动，改变齿轮的啮合，使主轴实现18种变速的目的。

此外，在手柄1转动时，与扇形齿轮2连在一起的凸轮10，撞击微动开关11，使主电动机瞬时接通（立即又被切断），使各轴上齿轮产生微小的转动，以便滑移齿轮顺利滑入啮合位置。为防止惯性作用造成齿轮之间接触碰撞而损坏，变速前应先停车。

1.4.2 X6132型铣床进给变速箱与操纵机构

进给变速箱位于升降台内的左侧（见图1-1），其操纵机构主要是变速操纵机构、安全离合器及多片式摩擦离合器，分述如下。

（1）变速操纵机构及操纵方法　进给变速箱的操纵机构也是采用孔盘变速机构，其工作原理与主轴变速箱的操纵机构完全相同，即利用拨叉将轴Ⅷ和轴Ⅹ的两个三联滑移齿轮分别拨到三个不同的啮合位置，将轴Ⅹ上的$z=40$的滑移齿轮拨到两个不同的位置，就可获得18种不同的进给速度。由图1-5可见，进给变速箱的操纵机构是用三个拨叉进行控制的。

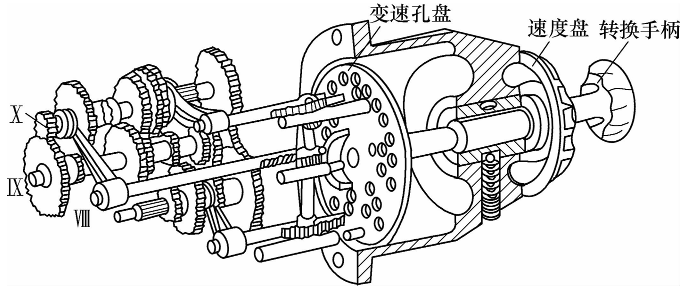


图1-5 进给变速箱的操纵机构示意图

进给变速箱前端有蘑菇形转换手柄及速度盘，盘上标有18种进给速度的值（垂直进给时，进给速度为盘示数值的1/3）。变速时，先向外拉转换手柄，再连同速度盘转到所需进给速度值的位置，此时变速孔盘也转到相应位置，然后先快速再慢速地将转换手柄推回原位，孔盘会推动拨叉，拨叉又拨动各滑移齿轮到预期的啮合位置，实现变换进给速度的目的。

当手柄外拉或推回时，均会触动微动开

关，使进给电动机瞬时接通或切断电路，以利于各滑移齿轮顺利地进入啮合状态。

进给变速可以在开车时进行。因为一方面微动开关可切断电动机电路的触点，切断动力源；另一方面进给变速箱内的齿轮速度较低。

（2）安全离合器　安全离合器是一种定转矩装置，用来防止机床工作时超载而损坏零件。安全离合器安装在轴Ⅺ的左端，由图 1-6 可见，安全离合器 11 的左半部空套在轴Ⅺ的套筒上，其端面齿与离合器 M_2 的端面齿结合。齿轮 13 空套在安全离合器 11 上，在它们的等径圆周上均布着 12 个孔，而齿轮 13 的孔内装入圆柱销 15、弹簧 14 和钢球 12。圆柱销的左端在弹簧力的作用下靠紧调整螺母 16 的右端面；同时弹簧也将钢球压紧在安全离合器 11 的孔中。齿轮 13 的转动通过钢球 12 传给安全离合器 11 和离合器 M_2，M_2 再通过花键套筒和平键传给轴Ⅺ，最后由齿轮 10 传出。当机床超载或发生故障时，安全离合器 11 的孔坑对钢球的反作用力增大，当其轴向分力大于弹簧压力时，钢球便被挤回齿轮 13 的孔中，齿轮 13 带动钢球在安全离合器 11 的端面打滑，安全离合器 11 停止转动，进给运动中断。安全离合器传递转矩一般以 160～200N·m 为宜，可通过调整螺母 16 调整。调整时，先旋松调整螺母 16 上的紧固螺钉 17，再转动调整螺母 16，调整弹簧 14 对钢球 12 的压力，合适后拧紧紧固螺钉 17，以防止调整螺母 16 松动。

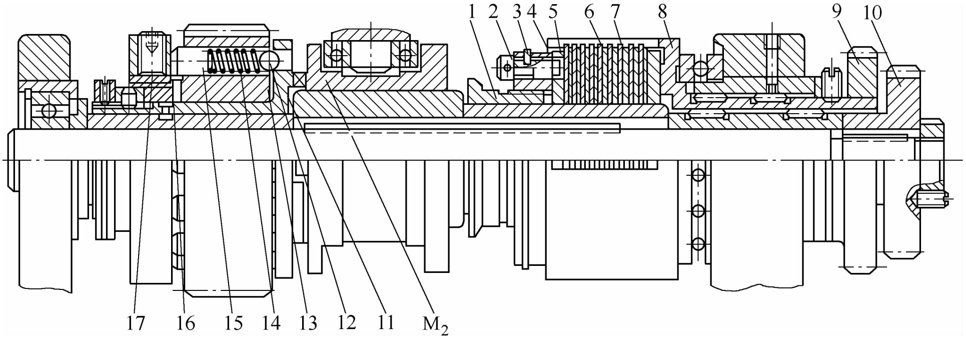


图 1-6　X6132 型铣床进给箱中轴Ⅺ的结构图

1—滑套　2—螺钉　3—钢丝　4—调整螺母　5—环　6—内摩擦片
7—外摩擦片　8—外壳　9、10、13—齿轮　11—安全离合器
12—钢球　14—弹簧　15—圆柱销　16—调整螺母　17—紧固螺钉

（3）多片式摩擦离合器　多片式摩擦离合器用来接通工作台的快速移动。离合器的外壳 8 用滚针支承在箱体的压套孔内，齿轮 9 用键（图中未示出）与外壳 8 连接，离合器的外摩擦片 7 空套在花键套上，其外圆周处的凸缘卡在离合器外壳的槽内；离合器的内摩擦片 6 装在由键和轴Ⅺ连接的花键套上，用来接通离合器的滑套 1 上装有调整螺母 4。当接通快速移动时，离合器 M_2 在电磁铁的作用下向右移动，与安全离合器 11 脱开，同时推动滑套 1 和调整螺母 4 右移，调整螺母 4 端面通过环 5 压紧内、外摩擦片，使多片式离合器接通，工作台实现快速移动。内、外摩擦片间的间隙由调整螺母 4 调整，螺钉 2 和钢丝 3 是防松装置。

由上可见，进给变速箱内的轴Ⅺ上左端安装的安全离合器 11、牙嵌式离合器 M_2 和右边的多片式摩擦离合器 M_3，分别用于安全保护、控制工作台的进给运动以及工作台的快速移动。而轴Ⅺ上的传动齿轮 13 是将进给运动经安全离合器 11 和牙嵌式离合器 M_2 传给轴Ⅺ。

此外，进给变速箱内轴Ⅷ的左端装有一凸轮（图 1-2 中未示出），用来带动润滑油泵，供给进给变速箱内的润滑油。

1.4.3 X6132 型铣床工作台的传动与操纵机构

（1）纵向进给工作台的传动与操纵机构

1）纵向进给工作台的传动。由图1-2所示的进给传动系统部分可知，进给变速箱中的运动由轴Ⅺ传出，经$\frac{28}{35}$—轴Ⅻ—$\frac{18}{33}$—$\frac{33}{37}$—轴ⅩⅣ，再经过两对锥齿轮$\frac{18}{16}$—$\frac{18}{18}$，由拨叉将离合器$M_{纵}$与锥齿轮啮合，由离合器内的滑键带动丝杠转动。当丝杠转动时，固定在工作台上的丝杠螺母带动工作台作纵向进给。

2）纵向进给工作台的操纵机构。纵向进给运动工作台的操纵机构见图1-7。

进给运动工作台是依靠控制进给电动机的正、反转开关的开合和离合器$M_{纵}$的断开与接通来控制进给运动的。

当手柄1处于中间位置时（即图1-7所示位置），电动机开关9、10处于断开状态，进给电动机不转动，并且离合器$M_{纵}$处于脱开状态（弹簧5受压），故此时工作台无进给运动。

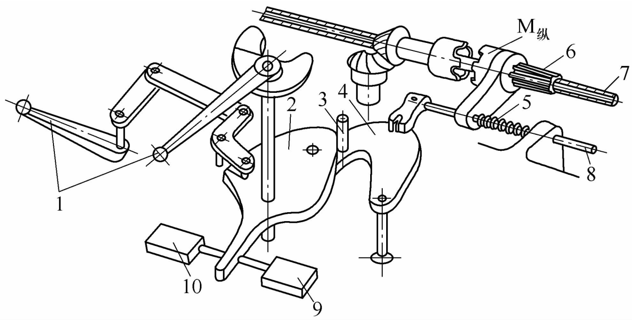


图1-7 纵向进给工作台的操纵机构

1—手柄 2—靠板 3—柱销 4—杠杆板 5—弹簧 6—外花键
7—纵向丝杠 8—轴 9、10—电动机开关

手柄1向右扳时，手柄轴带动靠板2逆时针转过一个角度，靠板2尾部压合电动机开关9，使进给电动机起动，此时靠板2不再顶住柱销3，因而轴8上的弹簧5向左推动杠杆板4逆时针转动一个角度，离合器$M_{纵}$结合，纵向丝杠7被带动旋转，并连同工作台一起向右移动。

手柄1向左扳时，靠板2顺时针转动一个角度，其尾部压合电动机开关10使进给电动机反向旋转，此时离合器$M_{纵}$依然处于结合状态，工作台向左移动。

纵向进给工作台操纵手柄1有两个，一个在工作台前面，另一个在工作台的左边，并且是联动的，便于操作者站在不同的位置进行操作。

（2）横向、垂直方向工作台的传动与操纵机构

1）横向、垂直方向进给的传动。由图1-2的进给传动系统可知，运动自轴Ⅺ传给轴Ⅻ和轴ⅩⅢ，经过轴ⅩⅢ上的齿轮$z=33$传至轴ⅩⅣ上的齿轮$z=37$，再经过轴ⅩⅤ上的齿轮$z=33$传至轴ⅩⅤ。当接通离合器$M_{横}$时，运动传至横向丝杠，使工作台实现横向进给运动；当接通离合器$M_{垂}$时，轴ⅩⅢ的齿轮$z=22$传动齿轮$z=33$，再经过锥齿轮$z=22$、$z=44$将运动传至升降丝杠，使工作台实现垂直方向的进给运动。

2）横向、垂直方向进给的操纵机构。由图1-8可见，横向、垂直方向的两个进给运动是由一个手柄10来操纵的。当工作台要作垂直方向进给时，可将手柄10向上提或向下压。向上提时，手柄以中部球形部分为支点，顶部则向下摆动（参见图1-8b中$C—C$放大图），带动鼓轮1逆时针转动一个角度，使支点7沿斜面向鼓轮中心移动，同时支点2则沿弧面向鼓轮外径方向推出（参见图1-8b中$B—B$放大图）。由图1-8a俯视图可见，此时杠杆3绕其支点作顺时针方向转动，通过铰链6、带动杠杆5推动杠杆4顺时针摆动，使离合器$M_{垂}$接合、$M_{横}$脱开。由图1-8b中$C—C$放大图可见，鼓轮1作逆时针转动时，鼓轮1的斜面将轴销9下压，接通进给电动机电路，工作台就

向上运动；若要工作台向下垂直进给时，就将手柄10下压，鼓轮1就顺时针转动一个角度，支点2和7的运动与上述相同，仍使$M_{垂}$接合(由图1-8b中B—B放大图)，鼓轮1的斜面压下轴销8，接通进给电动机的另一条电路，使电动机反转，工作台则向下运动。

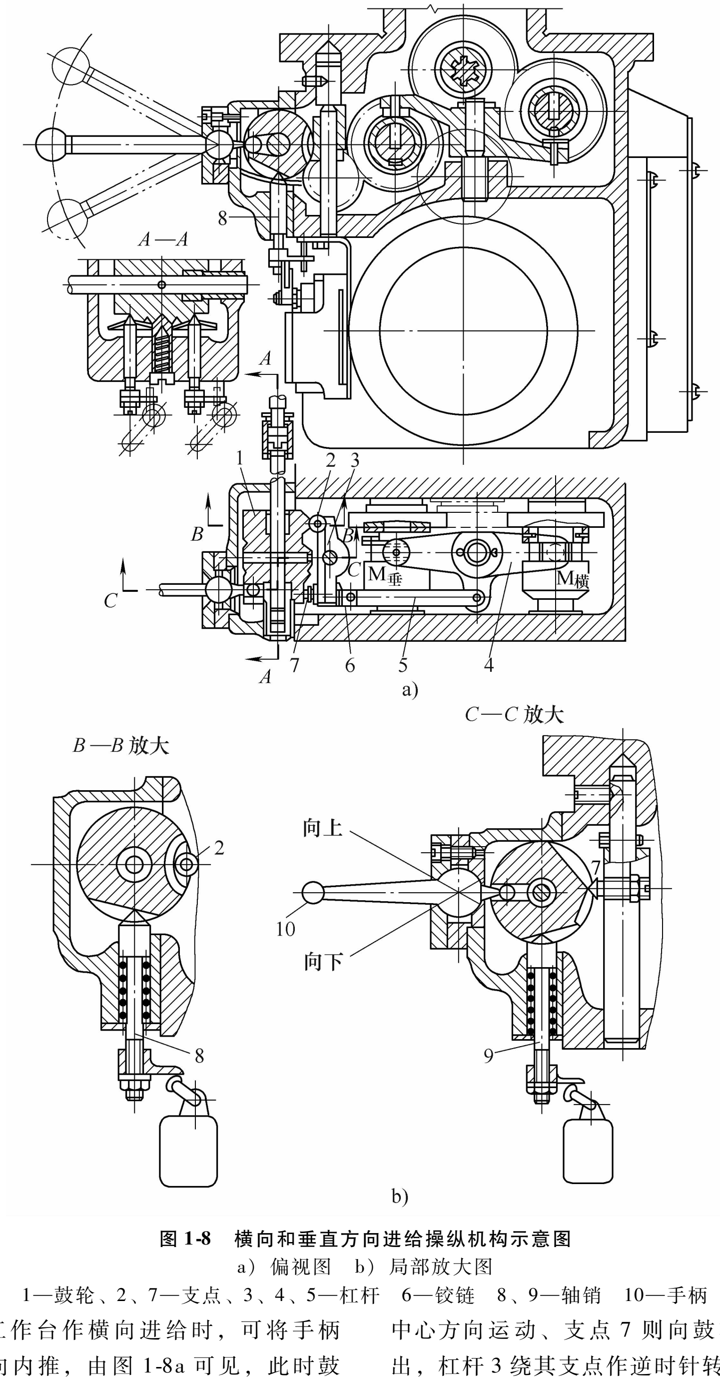


图1-8 横向和垂直方向进给操纵机构示意图

a) 偏视图 b) 局部放大图

1—鼓轮、2、7—支点、3、4、5—杠杆 6—铰链 8、9—轴销 10—手柄

当需要工作台作横向进给时，可将手柄10向外拉或向内推，由图1-8a可见，此时鼓轮1就会向内或向外移动，但支点2均向鼓轮中心方向运动、支点7则向鼓轮外径方向推出，杠杆3绕其支点作逆时针转动，推动杠杆5右移，使杠杆5作逆时针摆动，这时离合器

$M_{横}$ 接合，而 $M_{纵}$ 脱开。由 *A—A* 视图可见，手柄10向里推而鼓轮向外移时，斜面将轴销9压下，使工作台向内进给；反之，将轴销8压下，使工作台向外进给。

由于 $M_{横}$ 和 $M_{垂}$ 都是由杠杆4控制的，当 $M_{横}$ 接合时，$M_{垂}$ 必脱开；而 $M_{垂}$ 接合时，$M_{横}$ 必脱开。因此，工作台的横向与垂直方向的机动进给是互锁的。

（3）进给操纵机构的安全装置（见图1-9） 当工作台作横向或垂直方向进给或快速运动时，为防止手柄旋转可能造成的工伤事故，进给机构中设有安全装置。在机动进给时，手柄一定会脱开而空套在轴上，使机动和手动互锁。当拨叉将离合器 $M_{垂}$ 拨向与齿轮1啮合，作垂直方向进给时，离合器 $M_{垂}$ 向左移动带动杠杆3，因被销2挡住而绕销2作逆时针转动，其下端推动柱销4向右移动，经套圈5将手柄连同手动进给的离合器向右推动而脱开，使手柄空套在轴上而不随轴转动。横向进给手柄也有相同的连锁装置。

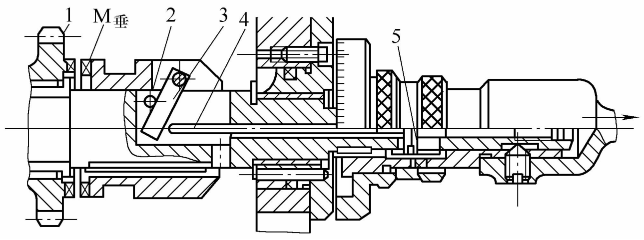


图1-9 X6132型铣床进给操纵机构的安全装置

1—齿轮 2—销 3—杠杆 4—柱销 5—套圈

工作台纵向进给手柄和横向、垂直方向进给的手柄不同，它在弹簧力的作用下，经常处于脱开状态。因此，在纵向机动进给时，手柄不会转动。当需手动移动工作台时，应先推动手柄使其与离合器结合，手柄就可带动丝杠旋转而实现工作台的手动纵向进给。松开手柄时，在弹簧力的作用下把离合器推开，手柄处于脱开状态，保证工作台作纵向机动进给时，不会因手柄转动而造成事故。

1.5 其他铣床简介

1.5.1 X5032型立式升降台铣床

图1-10所示为X5032型立式升降台铣床的结构示意图。其规格、传动机构、操纵机构等与X6132型铣床基本相同，主要的不同点有以下两点：

1）X5032型立式升降台铣床主轴位置与工作台面垂直，主轴安装在可以偏转的铣头壳体内。

2）X5032型立式升降台铣床的工作台与横向溜板连接处没有回转盘，故工作台在水平面内不能扳转角度。

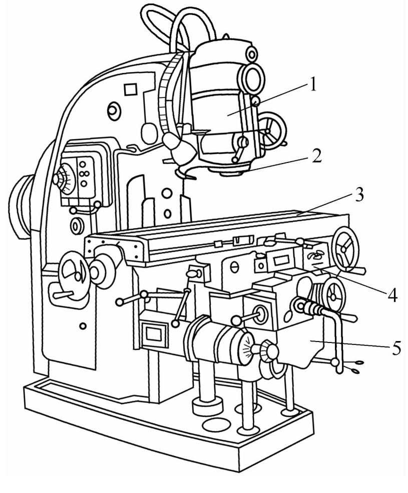


图1-10 X5032型立式升降台铣床的结构示意图

1—立铣头 2—主轴 3—纵向工作台 4—横向滑座 5—升降台

X5032型立式升降台铣床的技术参数见表1-6。

1.5.2 X8126型万能工具铣床

（1）机床的结构特点及运动 图1-11所

示为X8126型万能工具铣床的结构示意图。床身的内部装有主运动和进给运动变速箱，床身顶部有水平导轨，水平主轴头架可以沿导轨作横向移动。可拆卸的立铣头固定在水平主轴头架前面的垂直平面上，能左右回转45°，其垂直方向主轴可以手动轴向进给。而工作台可以作纵向和垂直方向进给运动，横向机动进给运动则由水平主轴头架完成。当用水平主轴工作时，需卸下立铣头，将铣刀心轴装入水平主轴孔内，并用悬梁与支架来支承铣刀心轴，就可同卧式铣床一样进行铣削加工。床身前面的垂直方向导轨，升降台可以沿其上下移动，工作台则可沿升降台的水平导轨实现纵向进给。工作台前面的垂直平面上有两条T形槽，供安装各种附件，图1-11中安装的是水平角度工作台。

（2）机床附件 X8126型万能工具铣床的主要附件有水平角度工作台、回转工作台、分度头、万向回转平口虎钳、万能角度工作台等。铣床上安装回转工作台后，可作圆周进给运动和在水平面内作简单的等分，用于加工圆弧轮廓等曲面。如安装图1-12所示的万能角度工作台，由于其工作台可绕三个相互垂直的轴线回转（图1-13a、b、c），使安装工件或夹具的工作台面与空间成任意角度，适于铣削各种倾斜平面及钻、镗斜孔等复杂工件。

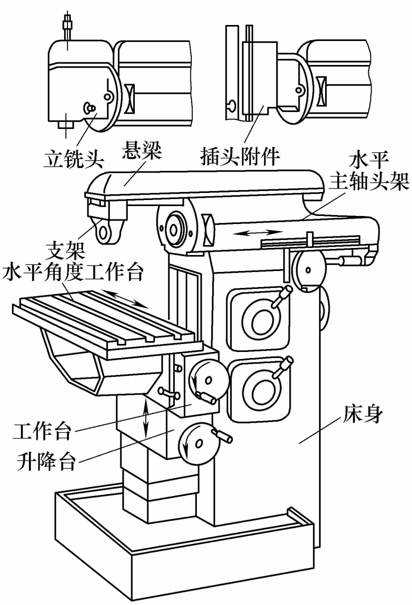


图1-11 X8126型万能工具铣床的结构示意图

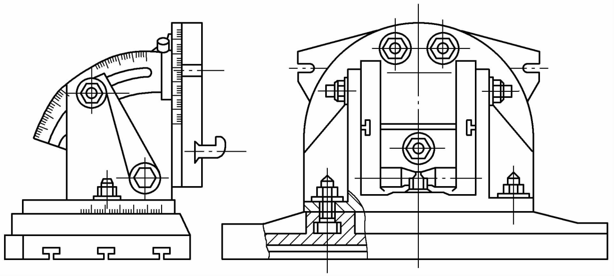
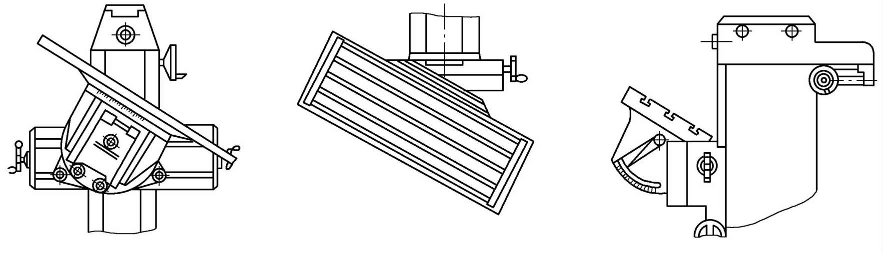


图1-12 万能角度工作台



a) b) c)

图1-13 万能角度工作台的调整

a）示意图一 b）示意图二 c）示意图三

（3）X8126 型万能工具铣床的主要技术参数

X8126 型万能工具铣床主轴有 8 种转速，其水平主轴的转速范围是 110～1230r/min；而垂直主轴的转速范围为 150～1660r/min。

机床的纵向、横向和垂直方向的进给量也是 8 种，也可以实现手动进给。

X8126 型万能工具铣床特别适用于制造刀具、夹具、模具和小型复杂工件。机床结构小巧，刚性不足，适宜于切削量较小的半精加工和精加工。

1.5.3 四轴龙门铣床

（1）四轴龙门铣床的结构与用途　图 1-14 所示为四轴龙门铣床的结构示意图，带有两个垂直主轴立铣头和两个水平主轴侧铣头。该铣床能同时安装 4 把铣刀在上、左、右三个方位对工件进行加工，垂直主轴能在 ±30°范围内偏转角度；水平主轴能在 -15°～ +30°范围内偏转角度。这种龙门铣床也可制成三轴的，即减少一个立铣头。机床的工作台只能作纵向进给运动，横向和垂直方向的进给运动则由立（侧）铣头、主轴或横梁完成。龙门铣床具有框架式结构，刚性好，工作台直接安装在床身上，载重能力大，可加工重型工件和进行高速铣削或强力铣削。这种结构的龙门铣床主要用于黑色及有色金属工件的平面加工，也可以加工台阶面、斜面及沟槽等。

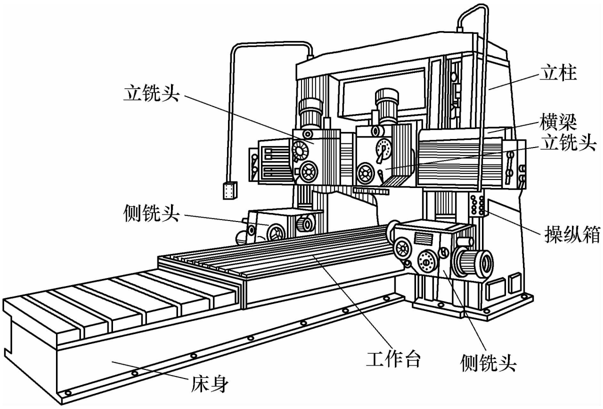


图 1-14　四轴龙门铣床的结构示意图

（2）X2010C 龙门铣床的主要技术参数

X2010C 型龙门铣床的主要技术参数如下：

1）最大加工尺寸（长 × 宽 × 高）：3000mm × 1000mm × 1000mm。

2）工作台最大承重：8t。

3）垂直主轴端面到工作台面距离：205～1105mm。

4）水平主轴轴线到工作台面距离：-125～835mm。

5）两水平主轴端面间距离：830～1230mm。

6）立（侧）铣头数：3～4 个。

7）铣头回转角度：垂直主轴 ±30°，水平主轴 -15°～ +30°。

8）主轴转速级数：12。

9）主轴转速范围：50～630r/min。

10）立（侧）铣头快速移动速度：1000mm/min。

11）立（侧）铣头进给级数：18。

12）立（侧）铣头进给量范围：10～500mm/min。

13）横梁升降速度：437mm/min。

14）工作台进给级数：无级。

15）工作台进给量范围：10～1000mm/min。

16）工作台快速移动速度：4000mm/min。

17）工作台最大移动量：3600mm。

18）推荐最大刀盘直径：350mm。

19）电动机功率：主电动机 15kW；总功率 60kW（三轴）、73kW（四轴）。

20）机床重量：36t（三轴）；37t（四轴）。

21）机床外形尺寸（长 × 宽 × 高）：

9640mm×4740mm×3915mm。

22）工作精度：平面度 0.02mm/300mm^2，表面粗糙度值 Ra2.5μm。

1.6 铣床的加工精度、调整及精度检验

1.6.1 铣床加工的经济精度

1）立式升降台铣床铣削的经济精度见表1-9。

表 1-9 立式升降台铣床铣削的经济精度

（单位：mm）

铣床类型	偏差类型			经济精度
立式铣床	平面度			0.1/300
	平行度			0.2/300
	垂直度			0.2/300
	铣削零件厚度的偏差	长度	~120	0.15
		宽度	~120	
		长度	>120~360	0.25
		宽度	~360	
		长度	>360~500	0.35
		宽度	~360	
		长度	>500~1000	0.45
		宽度	~360	
	成形铣削尺寸的偏差			0.5

2）卧式升降台铣床铣削的经济精度见表1-10。

3）普通龙门铣床铣削的经济精度见表1-11。

1.6.2 铣床主要零部件的精度对工件加工精度的影响

（1）铣床主轴锥孔轴线的径向圆跳动超差 主轴锥孔轴线的径向圆跳动超差，会使刀杆和铣刀的径向圆跳动和摆差增大，铣槽时槽宽易超差或产生锥度，加工表面粗糙度值会增大，较薄的铣刀容易折断。

铣床主轴锥孔轴线的径向圆跳动超差的主要原因是：

1）主轴磨损。

表 1-10 卧式升降台铣床铣削的经济精度

（单位：mm）

铣床类型	偏差类型			经济精度
卧式铣床	平面度			0.1/300
	平行度			0.2/300
	垂直度			0.2/300
	铣削零件厚度上的偏差	长度	~120	0.2
		宽度	~120	
		长度	>120~360	0.35
		宽度	~360	
		长度	>360~500	0.45
		宽度	~360	
		长度	>500~1000	0.5
		宽度	~360	
	沟槽侧面的倾斜			0.2/100
	用分度头铣削时的角度偏差			10′

表 1-11 普通龙门铣床铣削的经济精度

（单位：mm）

铣床类型	偏差类型	经济精度
普通型	平面度	0.05/1000
	垂直度	0.05/300

2）主轴轴承磨损或间隙过大。

3）主轴锥孔被“拉毛”或精度变差。

4）紧固件松动。

5）检验时，主轴锥孔与检验棒配合面中有污物。

（2）铣床主轴定心轴颈的径向圆跳动超差 主轴定心轴颈的径向圆跳动超差，则以轴颈定心安装的铣刀会产生径向跳动和振摆，影响工件的加工精度、表面粗糙度和刀具的使用寿命。

铣床主轴定心轴颈的径向圆跳动超差的主要原因有：

1）主轴制造精度差。

2）主轴轴承磨损、间隙过大或轴承损坏。

3）主轴轴颈磨损较大等。

（3）铣床主轴的轴向窜动超差 主轴的轴向窜动超差时，铣削时会产生振动，在立式铣床上用面铣刀铣削平面尤为明显，不仅工件

加工尺寸不易控制和影响加工表面的平面度，并且还使表面粗糙度值增大。

主轴的轴向窜动超差的原因主要是：

1） 主轴与轴承之间的间隙过大。

2） 主轴或主轴轴承磨损过大。

3） 检验时，检验棒端面的质量差或指示表的测量头未触及检验棒端面的中心等。

（4） 铣床主轴轴肩支承面的端面圆跳动超差　主轴轴肩支承面的端面圆跳动超差，则以此面定位安装的铣刀会产生端面跳动，不仅影响工件的加工精度和表面粗糙度，还会降低刀具寿命。

造成铣床主轴轴肩支承面的端面圆跳动超差的主要原因有：

1） 主轴轴承间隙过大。

2） 主轴轴肩磨损较大。

3） 主轴制造精度差等。

（5） 卧式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的平行度超差　卧式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的平行度超差，容易导致工件加工面的平行度、垂直度超差，并且使加工过程中工件的尺寸较难控制。

卧式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的平行度超差的原因有：

1） 工作台台面变形或不平。

2） 铣床安装的水平失准。

3） 升降台锁紧机构失灵。

4） 主轴锥孔精度差等。

（6） 卧式铣床刀杆吊架孔轴线与主轴旋转轴线的重合度超差　卧式铣床刀杆吊架孔轴线与主轴旋转轴线的重合度超差，会降低铣刀的安装精度，产生跳动和振摆，容易导致工件加工平面的平行度超差，加工表面的表面粗糙度值增大。

卧式铣床刀杆吊架孔轴线与主轴旋转轴线的重合度超差的主要原因有：

1） 横梁变形。

2） 横梁导轨磨损。

3） 吊架孔的加工精度差或磨损大等。

（7） 卧式铣床横梁导轨对主轴旋转轴线的平行度超差　卧式铣床横梁导轨对主轴旋转轴线的平行度超差，直接影响刀杆吊架的安装精度，会使刀杆变形；同时使刀杆吊架内的铜轴承磨损加剧，降低了铣刀的安装精度，铣削时容易产生振动，从而降低工件的加工质量和铣刀寿命。

卧式铣床横梁导轨时主轴旋转轴线的平行度超差的主要原因是：

1） 横梁变形。

2） 横梁导轨间隙过大。

3） 锁紧机构失灵。

4） 主轴锥孔精度差等。

（8） 卧式铣床主轴旋转轴线对工作台横向移动的平行度超差　卧式铣床主轴旋转轴线对工作台横向移动平行度超差，会造成工件加工的平行度、垂直度超差，还会使工作台横向移动，加工工件的尺寸较难控制。

卧式铣床主轴旋转轴线对工作台横向移动的平行度超差的主要原因是：

1） 工作台横向移动导轨变形或磨损。

2） 横向导轨镶条松动或调整不当。

3） 铣床安装质量差，水平不准。

（9） 卧式铣床主轴旋转轴线对工作台中央基准T形槽的垂直度超差　卧式铣床主轴旋转轴线对工作台中央基准T形槽的垂直度超差，将影响用T形槽定位的夹具定位精度。因此，在铣削各类槽时，槽形会产生较大的误差。

卧式铣床主轴旋转轴线对工作台中央基准T形槽的垂直度超差的主要原因是：

1） 工作台回转刻度处的零位未校准。

2） T形槽的直槽侧面变形或被“拉毛”。

3） 检验时，指示表安装不稳固，产生较大的测量误差。

（10） 立式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的垂直度超差　立式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的垂直度超差，在用面铣刀铣平面时，则会铣成一个弧形的凹面，刀纹成单向弧形（见图1-15a）；如工作台台面与主轴旋转轴线垂直，铣削出的平面的平面度较高，且刀纹成网状（见图1-15b）。此外，对工件加工时的位置精度（平行度、垂直度）也容易造成超差。当进行钻孔或镗孔加工时，会使孔轴线歪斜或孔呈椭圆形；加工斜面工件时，会影响斜面倾角。

立式铣床主轴旋转轴线对工作台台面的垂

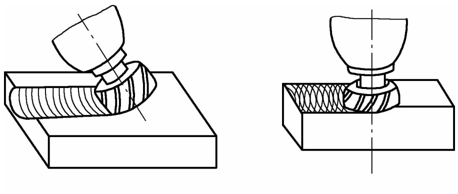


图 1-15　铣床主轴轴线与工作台台面的垂直度超差对工件平面度的影响

a）弧形凹面　b）平面

直度超差的原因有：

1）立铣头刻度零位未校准。

2）立铣头锁紧机构失灵或未均匀锁紧，使立铣头倾斜。

3）升降台导轨精度差。

4）铣床变形或水平失准等。

（11）立式铣床主轴套筒移动对工作台台面的垂直度超差　立式铣床主轴套筒移动对工作台台面的垂直度超差，在以主轴进给加工孔时，会产生轴歪斜；在深度方向多次进给加工，会产生明显的接刀痕迹；利用移动主轴套筒找正工件时，会产生找正误差；用铣刀侧刃铣削垂直面时，会影响垂直度。

立式铣床主轴套筒移动对工作台台面的垂直度超差的主要原因是：

1）套筒制造精度差或磨损大。

2）升降台的导轨精度差。

（12）铣床工作台纵向移动对工作台台面的水平度超差　铣床工作台纵向移动对工作台台面的水平度超差，影响加工工件尺寸的控制和工件的位置精度。

铣床工作台纵向移动对工作台台面的水平度超差的主要原因是：

1）工作台台面制造精度差或磨损较大。

2）纵向工作台导轨的精度差或磨损较大。

3）铣床水平失准。

（13）铣床工作台中央 T 形槽侧面对工作台纵向移动的平行度超差　铣床工作台中央 T 形槽侧面对工作台纵向移动的平行度超差，会影响夹具的定位精度；当直接用 T 形槽作定位基准装夹工件时，会影响工件的尺寸精度和位置精度。

铣床工作台中央 T 形槽侧面对工作台纵向移动平行度超差的主要原因是：

1）工作台 T 形槽的制造精度差或磨损大。

2）工作台变形。

3）工作台导轨精度差或磨损较大。

4）铣床水平失准。

（14）铣床工作台横向移动对工作台台面的平行度超差　铣床工作台横向移动对工作台台面的平行度超差，会影响加工工件的尺寸精度和位置精度（平行度、垂直度）；在卧式铣床上加工孔时，会使孔轴线歪斜。

铣床工作台横向移动对工作台台面的平行度超差的主要原因是：

1）工作台台面制造精度差或磨损大。

2）铣床横向导轨被磨损。

3）卧式万能铣床的转台接合面精度差或贴合面之间有污物等。

（15）铣床工作台纵向和横向移动的垂直度超差　铣床工作台纵向和横向移动的垂直度超差，会影响工件加工面的垂直度。

铣床工作台纵向和横向移动的垂直度超差的主要原因是：

1）铣床导轨的制造精度差或磨损较大。

2）纵向和横向导轨的镶条太松。

3）卧式万能铣床转台的零位不准等。

（16）铣床升降台垂直移动的直线度超差　铣床升降台垂直移动的直线度超差，会影响加工工件的平行度和垂直度，也影响立式铣床孔加工的精度。

铣床升降台垂直移动的直线度超差的主要原因有：

1）升降台垂直导轨的镶条太松。

2）铣床工作台各导轨的积累误差大。

3）升降台垂直导轨的精度差或磨损大。

4）铣床水平失准等。

在铣床上加工工件时，如发现存在上述加工质量问题，应及时采取相应的技术措施予以解决。同时也可以看出，铣床的正确调整、精度检验、及时的维护保养和合理使用，对保证工件的加工质量是十分重要的。

1.6.3 常用铣床的调整

常用铣床的调整主要有：主轴轴承间隙的调整、工作台传动丝杠间隙的调整和工作台导轨间隙的调整等。

1. 主轴轴承间隙的调整

（1）X5032型立式铣床主轴轴承间隙的调整　图1-16所示为X5032型立式铣床主轴轴承间隙的调整示意图，其轴承径向间隙的调整方法如下：

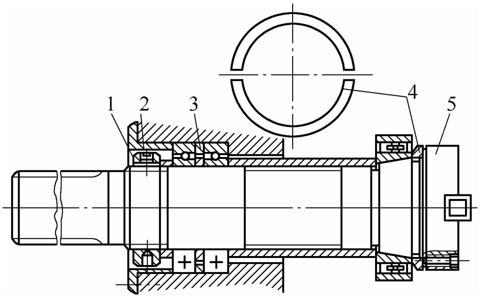


图1-16　X5032型立式铣床主轴轴承间隙的调整

1—螺母　2—锁紧螺钉　3—外垫圈　4—垫片　5—端盖

1）拆下铣头前侧面的盖板，松开主轴上的锁紧螺钉2，拧松螺母1。

2）拆下主轴头部的端盖5，取下垫片4（由两个半圆环构成）。

3）根据需要消除间隙的多少，配磨垫片。由于轴颈与轴承内孔的锥度为1:12，若要消除的径向间隙为0.03mm，则只需要将垫片厚度磨去0.36mm。

4）将磨后的垫片重新装回主轴，然后用较大转矩拧紧螺母1，使轴承内圈胀开，直到把垫片压紧为止。

5）把锁紧螺钉2拧紧，以防止螺母松动，然后装上端盖5。

主轴的轴向间隙由外垫圈3两边的两个角接触球轴承来调节，在两轴承内圈的距离不变时，只要减薄外垫圈3，就能减小主轴轴承的轴向间隙。

轴承间隙的大小由铣床的工作性质决定：粗加工机床的轴承间隙取较大值，精加工机床的轴承间隙取较小值。一般以200N的力推或拉动主轴，顶在主轴端面上的指示表读数应在0～0.015mm范围内变动；再使机床主轴在1500r/min的转速下运转1h，主轴轴承的温度应不超过60℃，则说明主轴轴承间隙合适。

主轴的精度对工件的加工精度有着重要的影响。主轴轴承间隙过小，则会使主轴因发热而“咬死”，产生故障或事故；主轴轴承的间隙过大，就会使主轴的径向跳动和轴向窜动增大。主轴的径向圆跳动增大，就会造成铣刀刀杆的振摆加大，使铣削时铣刀产生偏让（即“让刀”），从而使控制加工尺寸困难；主轴的轴向窜动增大，会加大铣削时的振动，并使加工尺寸控制不准，工件平面度误差增大。因此，正确调整铣床主轴轴承间隙是十分重要的。

（2）X6132型卧式铣床主轴轴承间隙的调整　图1-17所示为X6132型卧式铣床主轴轴承间隙的调整示意图，其轴承间隙调整的方法如下：

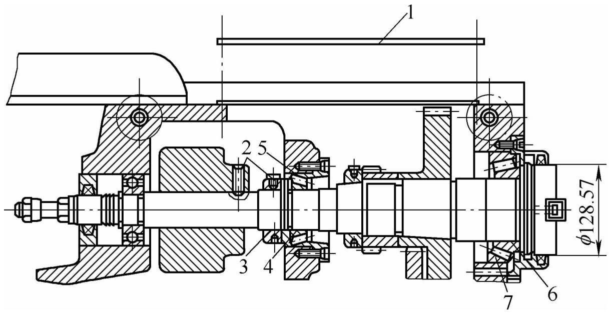


图1-17　X6132型卧式铣床主轴轴承间隙的调整示意图

1—盖板　2—锁紧螺钉　3—调整螺母　4、6—轴承内圈　5、7—轴承外圈

1）旋松顶部横梁的紧固螺栓，将横梁移至铣床床身后部。

2）取下横梁下方的盖板1。

3）松开锁紧螺钉2后，拧动调整螺母3，以改变轴承内圈4和6之间的距离，从而调整两轴承的内圈、滚子和外圈之间的间隙。

4）轴承间隙调整好后，旋紧锁紧螺钉2，盖好盖板1，最后使横梁复位。

X6132型卧式铣床轴承间隙大小的测定方法与X5032型立式铣床的测定方法相同。

2. 工作台传动丝杠间隙的调整

工作台传动丝杠本身安装的轴向间隙和丝杠与螺母之间的间隙，使工作台在铣削过程中存在进给反向空程。过大的反向空程会导致在用移动工作台控制尺寸时准确性差或产生较大误差；当采用顺铣方式铣削时，在铣削力作用下会使工作台产生窜动，导致进给不均匀，引起振动。这不仅影响加工零件的尺寸精度和表面粗糙度，还会损坏刀具，加速丝杠螺母运动副的磨损。

（1）工作台纵向传动丝杠轴向间隙的调整（见图1-18）　工作台两端支架与丝杠之间的轴向间隙不能超过一定范围，过大或过小将都会影响机床的加工质量。根据机床的标准要求，纵向丝杠的空行程量公差为刻度盘的1/24圈（即五格），一般限制在0.05mm之内。空行程量过大时，造成工作台窜动，无法使被加工工件获得较好的表面质量；空行程量过小时，造成工作台移动困难，甚至卡死。其调整方法如下：

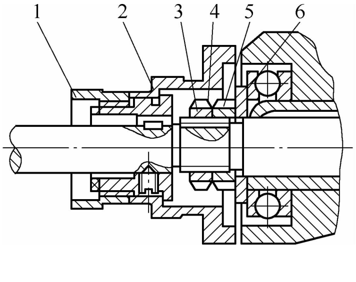


图1-18　纵向丝杠轴向间隙的调整

1—锁紧螺母　3、5—调节螺母　2—刻度盘
4—止动垫圈　6—垫圈

1）卸下手轮，紧固锁紧手轮螺钉后，卸下锁紧螺母1和刻度盘2，扳直止动垫圈4的卡爪，稍微松开调节螺母3，然后转动调节螺母5，使推力球轴承与支架间隙合理，一般轴向间隙量为0.01～0.03mm，而调节螺母5的松紧程度以手刚能拧动垫圈6为宜。

2）调整合适后，先旋紧调节螺母3，然后要反向旋紧调节螺母5，以防止旋紧调节螺母3时，将调节螺母5再向内压紧。

3）最后压下止动垫圈4的卡爪，并装上刻度盘2、锁紧螺母1以及手轮。

（2）工作台丝杠与螺母之间间隙的调整　铣床工作台纵向丝杠与螺母传动机构的螺纹之间存在间隙，随着使用时间的增长，螺纹之间的磨损量也会逐渐增加，从而使间隙逐渐增大。在顺铣时，丝杠与螺母之间不允许有较大的间隙，否则铣削时会产生振动，直接影响加工质量。因此，必须把间隙调整到允许的范围之内，一般为0.05mm以内。常用铣床（如X6132型卧式铣床等）都设有丝杠、螺母调节机构，其结构见图1-19a。螺母5固定在工作台的导轨座上，紧靠螺母5的可调节螺母4的外圆处是一蜗轮，并与蜗杆1啮合。丝杠与螺母间隙的调整方法如下：

1）先卸下工作台前面的盖板3，再拧松螺钉2。

2）顺时针转动蜗杆1，带动可调螺母4旋转。由图1-19b可见，在可调螺母4未转动时，丝杠、螺母之间有间隙存在；当螺母4转动后，因为螺母5是固定的，使螺母4与螺母5的端面相互抵紧，迫使螺母4推动丝杠6向左移动，直到丝杠螺纹的右侧与螺母4贴紧，丝杠螺纹的左侧与螺母5贴紧（见图1-19c），丝杠、螺母之间的间隙即可消除。

3）间隙调整好后，拧紧螺钉2，盖好盖板3。调整好的丝杠、螺母的间隙应满足以下要求：

①　用手动进给摇动手轮时，丝杠全长上阻力均匀，不能出现卡滞现象。

②　正、反方向转动手轮时，空程读数应小于刻度盘上的3小格（0.15mm）；

当铣床要采用顺铣方式铣削时，空程读数应小于2格（0.10mm）。

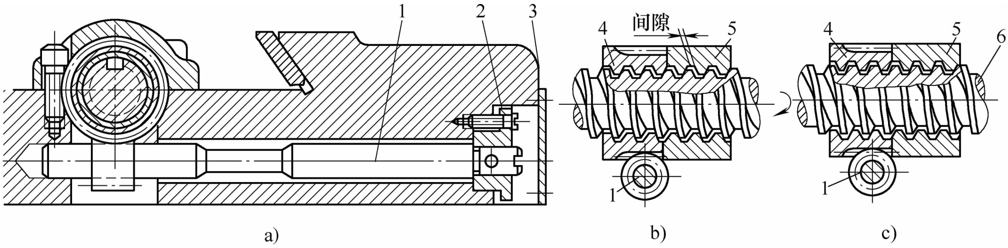


图 1-19 纵向丝杠传动间隙调整机构

a）丝杠、螺母调节机构 b） 调整图一 c）调整图二

1—蜗杆 2—螺钉 3—盖板 4、5—螺母 6—丝杠

3. 工作台导轨间隙的调整

铣床工作台纵向、横向和垂直方向的运动部件与导轨之间，都应保持合适的工作间隙（一般不大于0.04mm为宜），间隙太小，运动部件移动费力，不灵活；间隙过大时，机床工作不平稳，铣削时振动大，影响工件的加工精度和表面粗糙度。

工作台导轨的配合间隙一般用镶条来调整（见图1-20）。其中，图1-20a为铣床纵向工作台的镶条调整机构，调整时先拧松螺母1、2，再转动螺杆3，使镶条4向前或向后移动，以调整运动部件与导轨之间的间隙大小，间隙调整合适后，依次将螺母2和螺母1拧紧（螺母1起防松作用）；图1-20b为铣床横向工作台导轨的镶条调整机构，调整时直接旋动螺杆3，即可使镶条4推进或拉出，以增大或减小导轨间隙。

对于纵向、横向工作台导轨，导轨间隙的

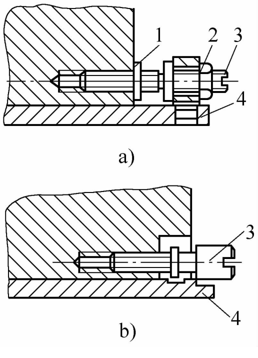


图 1-20 导轨间隙的调整机构

a）铣床纵向工作台的镶条调整机构

b）铣床横向工作台导轨的镶条调整机构

1、2—螺母 3—螺杆 4—镶条

大小以进给手轮用147N力能摇动为宜；对于升降台导轨，以用196～235N力能摇动上升为宜。有时也用塞尺来检验间隙的大小或以手感的轻重来判断。

1.6.4 铣床的精度检验

影响零件加工精度的因素很多，机床精度是其中的主要因素之一。机床在经过较长时间使用后或经过大修理后，应对其各项重要的精度指标进行检查和检验。

机床的精度包括机床的几何精度和机床的工作精度。

机床的几何精度是指机床在运转时各部件间的相互位置精度和主要零件的形状和位置精度。机床几何精度的检验是在非工作状态条件下的静态检验。

机床的工作精度是指机床工作部件运动的均匀性与协调性，以及机床部件相互位置的正确性。机床工作精度的检验是通过对标准试件的切削，对机床在工作状态下的综合性的动态检验。

1. 常用铣床的几何精度检验

这里将卧式和立式升降台铣床各个几何精度检验的项目、公差、方法和检验工具介绍如下（摘自GB/T 17421.1—1998）。

（1）升降台垂直移动的直线度的检验（见表1-12）

（2）工作台面对床身垂直导轨面的垂直度的检验（表1-13）

（3）工作台面对主轴箱（主轴套筒）垂直移动的垂直度的检验（只适用于立式铣床）（见表1-14）

表 1-12 升降台垂直移动的直线度的检验

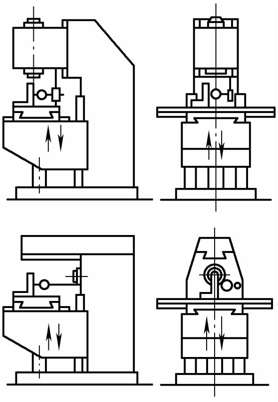
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
 a) b)	升降台垂直移动的直线度 a) 在机床的横向垂直平面内 b) 在机床的纵向垂直平面内	a) 在 300mm 测量长度上的 0.025mm b) 在 300mm 测量长度上为 0.025mm	指示器、直角尺	工作台位于纵、横向行程的中间位置，工作台和床鞍锁紧 直角尺放在工作台面上 a) 横向垂直平面内 b) 纵向垂直平面内 固定指示器，使其测头触及直角尺的检验面。调整直角尺，使指示器读数在测量长度的两端相等。移动升降台检验 a)、b) 项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值就是直线度误差

表 1-13 工作台面对床身垂直导轨面的垂直度的检验

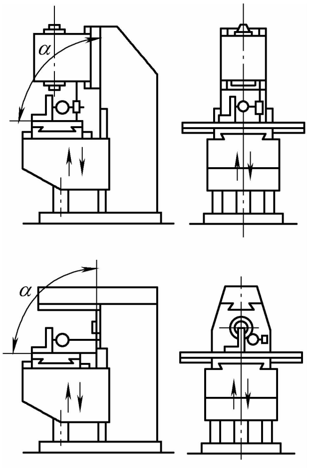
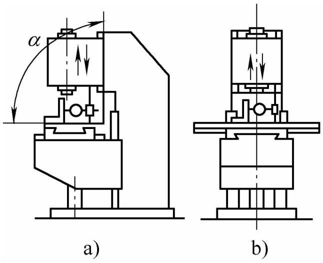
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
 a) b)	工作台面对床身垂直导轨面的垂直度 a) 在机床的横向垂直平面内 b) 在机床的纵向垂直平面内	a) 0.025/300，$\alpha \leqslant 90°$ b) 0.025/300	指示器、直角尺	工作台位于纵、横向行程的中间位置，工作台和床鞍锁紧 直角尺放在工作台面上 a) 横向垂直平面内 b) 纵向垂直平面内 固定指示器，使其测头触及直角尺的检验面。移动升降台并锁紧检验 a)、b) 项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值就是垂直度误差 在行程的中间和接近行程极限的三个位置上检验

表1-14　工作台面对主轴箱（主轴套筒）垂直移动的垂直度的检验（只适用于立式铣床）

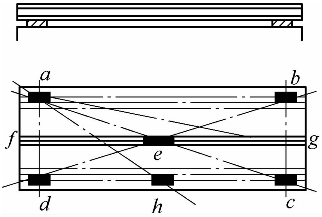
简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	工作台面对主轴箱（主轴套筒）垂直移动的垂直度（仅适用于立式铣床） a）在机床的横向垂直平面内 b）在机床的纵向垂直平面内	上轴箱 a）0.025/300，α≤90° b）0.025/300 主轴套筒 a）0.015/100，α≤90° b）0.015/100	指示器、直角尺	工作台位于纵、横向行程的中间位置，升降台和工作台锁紧 直角尺放在工作台面上 a）横向垂直平面内 b）纵向垂直平面内 固定指示器，使其测头触及直角尺的检验面。移动主轴箱（主轴套筒）并锁紧检验 a）、b）项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值就是垂直度误差

（4）工作台面的平面度的检验（见表1-15）

（5）工作台面对工作台移动的平行度的检验（见表1-16）

（6）工作台横向移动对工作台纵向移动的垂直度的检验（见表1-17）

表1-15　工作台面的平面度的检验

简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	工作台面的平面度	在1000mm长度内为0.040mm 工作台长度每增加1000mm，公差值增加0.005mm 最大公差值为0.005mm 局部公差：在任意300mm测量长度上为0.020mm	平尺、量块	工作台位于纵、横向行程的中间位置，升降台和床鞍锁紧 用平尺检验：按图示规定，将等高量块分别放在工作台面的 *a*、*b*、*c* 三个基准点上。平尺放在 *a-c* 等高量块上，在 *e* 点处放一可调量块，调整后，使其与平尺检验面接触。再将平尺放在 *b-e* 量块上，在 *d* 点放一可调量块，调整后，使其与平尺检验面接触。用同样的方法，将平尺放在 *b-c* 和 *d-c* 量块上，分别确定 *h*、*g* 位置的可调量块 按图示方位放置平尺。用量块测量工作台面与平尺检验面间的距离，其最大、最小距离之差就是平面度误差

注：工作台台面纵向只允许下凹，不允许上凸。

表 1-16 工作台面对工作台移动的平行度的检验

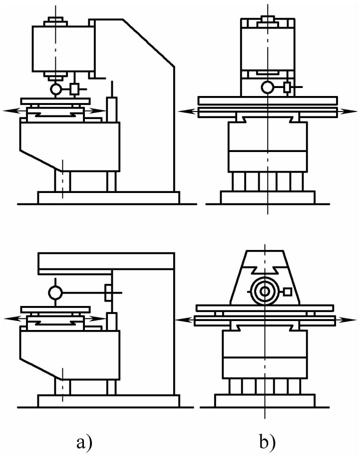
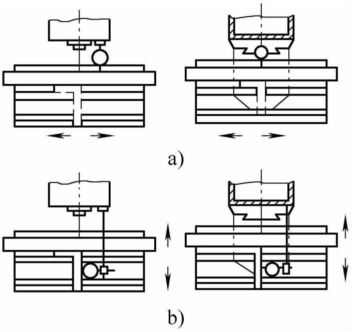
简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	工作台面对工作台移动的平行度 a）横向 b）纵向	a）在任意300mm测量长度上为0.025mm b）在任意300mm测量长度上为0.025mm 最大公差值为0.050mm	指示器、平尺	在工作台面上放两个等高块，平尺放在等高块上 a）横向 b）纵向 在主轴中央处固定指示器，使其测头触及平尺检验面，移动工作台检验 a）、b）项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值就是平行度误差 a）项检验时，工作台、升降台锁紧 b）项检验时，床鞍、升降台锁紧 当工作台长度大于1600mm时，应将平尺逐次移动进行检验

表 1-17 工作台横向移动对工作台纵向移动的垂直度的检验

简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	工作台横向移动对工作台纵向移动的垂直度	0.02/300	指示器、直角尺、平尺	锁紧升降台 a）将平尺放在工作台面上，调整平尺，使其检验面和工作台纵向移动平行。直角尺放在工作台面上，使其一边紧靠平尺，然后使工作台位于纵向行程的中间位置锁紧 b）固定指示器，使其测头触及直角尺的另一边。横向移动工作台检验 指示器读数的最大差值就是垂直度误差

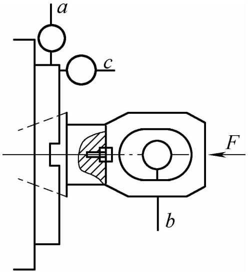
（7）主轴端部的跳动的检验（见表 1-18）

（8）主轴锥孔轴线的径向跳动的检验（见表 1-19）

（9）主轴旋转轴线对工作台面的平行度的检验（仅适用于卧式铣床）（见表 1-20）

（10）主轴旋转轴线对工作台横向移动的平行度检验（仅适用于卧式铣床）（见表 1-21）

表 1-18 主轴端部的跳动的检验

简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴端部的跳动 a 为主轴定心轴颈的径向跳动（用于有定心轴颈的机床） b 为主轴的轴向窜动 c 为主轴轴肩支承面的跳动	a 为 0.01 b 为 0.01 c 为 0.02	指示器、专用检验棒	固定指示器，使其测头分别触及 a 主轴定心轴颈表面 b 插入到主轴锥孔中的专用检验棒的端面中心处 c 主轴轴肩支承面靠近边缘处。旋转主轴检验 a、b、c 项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值就是跳动或窜动误差 b、c 项检验时，应通过主轴中心线加一个由制造厂规定的轴向力 F（对已消除轴向游隙的主轴，可不加力）

注：轴向力 F 一般为 200N。

表 1-19 主轴锥孔轴线的径向跳动的检验

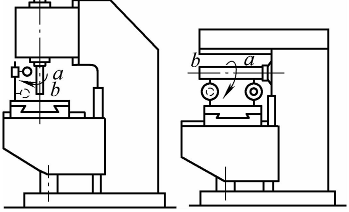
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴锥孔轴线的径向跳动 a 为靠近主轴端面 b 为距主轴端面 300mm 处	a 为 0.01 b 为 0.02	指示器、检验棒	在主轴锥孔中插入检验棒，固定指示器，使其测头触及检验棒的表面 a 为靠近主轴端面 b 为距主轴端面 300mm 处 旋转主轴检验 拔出检验棒，相对主轴旋转 90°，重新插入到主轴锥孔中，依次重复检验三次 a、b 项的误差应分别计算。4 次测量结果的算术平均值就是径向跳动误差

表 1-20 主轴旋转轴线对工作台面的平行度的检验（仅适用于卧式铣床）

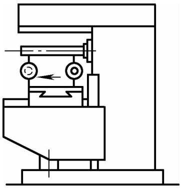
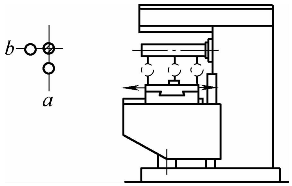
简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴旋转轴线对工作台面的平行度（仅适用于卧式铣床）	在300mm测量长度上为0.025mm（检验棒伸出端只许向下）	指示器、检验棒	工作台位于纵向行程的中间位置，升降台锁紧 在主轴锥孔中插入检验棒。将带有指示器的支架放在工作台面上，使其测头触及检验棒的表面。移动支架检验 将主轴旋转180°，重复检验一次 两次测量结果的代数和的一半就是平行度误差

表 1-21 主轴旋转轴线对工作台横向移动的平行度的检验（仅适用于卧式铣床）

简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴旋转轴线对工作台横向移动的平行度（仅适用于卧式铣床） *a* 为在垂直平面内 *b* 在水平面内	*a* 为在300mm测量长度上为0.025mm（检验棒伸出端只许向下） *b* 为在300mm测量长度上为0.025mm	指示器、检验棒	工作台位于纵向行程的中间位置，升降台锁紧 在主轴锥孔中插入检验棒。将指示器固定在工作台面上，使其测头触及检验棒的表面 *a* 为垂直平面内 *b* 为水平面内 移动工作台检验 将主轴旋转180°，重复检验一次 *a*、*b* 项的误差应分别计算。两次测量结果的代数和的一半就是平行度误差

（11）主轴旋转轴线对工作台面的垂直度的检验（仅适用于立式铣床）（见表 1-22）

（12）悬梁导轨对主轴旋转轴线的平行度的检验（仅适用于卧式铣床）（见表 1-23）

表 1-22 主轴旋转轴线对工作台面的垂直度的检验（仅适用于立式铣床）

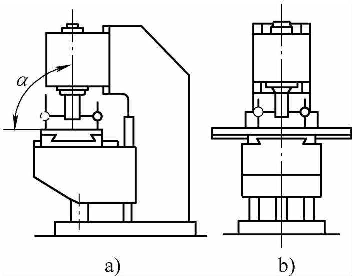
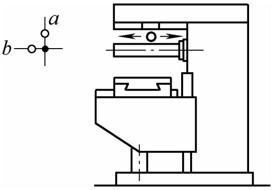
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴旋转轴线对工作台面的垂直度（仅适用于立式铣床） a）在机床的横向垂直平面内 b）在机床的纵向垂直平面内	a）0.025/300，α ≤ 90° b）0.025/300	指示器、专用检验棒	工作台位于纵向行程的中间位置，主轴箱（主轴套筒）、工作台、床鞍和升降台锁紧 指示器装在插入到主轴锥孔中的专用检验棒上，使其测头触及工作台面 a）横向垂直平面内 b）纵向垂直平面 旋转主轴检验 拔出检验棒，旋转180°，插入到主轴锥孔中，重复检验一次 a)、b）项的误差应分别计算。两次测量结果的代数和的一半就是垂直度误差

表 1-23 悬梁导轨对主轴旋转轴线的平行度的检验（仅适用于卧式铣床）

简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	悬梁导轨对主轴旋转轴线的平行度（仅适用于卧式铣床） *a* 为在垂直平面内 *b* 为在水平面内	*a* 为 0.02/300（悬梁伸出端只许向下） *b* 为 0.02/300	指示器、检验棒、专用支架	锁紧悬梁 在主轴锥孔中插入检验棒。悬梁导轨上装一个带有指示器的专用支架，使指示器测头触及检验棒的表面 *a* 为垂直平面内 *b* 为水平面内 移动支架检验 将主轴旋转 180°，重复检验一次 *a*、*b* 项的误差应分别计算。两次测量结果的代数和的一半就是平行度误差

（13）刀杆支架孔轴线对主轴旋转轴线的重合度的检验（仅适用于卧式铣床）（见表 1-24）

（14）工作台中央或基准 T 形槽的直线度的检验（见表 1-25）

（15）中央或基准 T 形槽对工作台纵向移动的平行度的检验（见表 1-26）

表 1-24 刀杆支架孔轴线对主轴旋转轴线的重合度的检验（仅适用于卧式铣床）

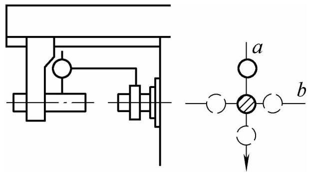
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	刀杆支架孔轴线对主轴旋转轴线的重合度（仅适用于卧式铣床） *a* 为在垂直平面内 *b* 为在水平面内	*a* 为 0.03（刀杆支架孔轴线只许低于主轴旋转轴线） *b* 为 0.03	指示器、检验棒、专用检具	刀杆支架固定在距主轴端面 300mm 处，悬梁锁紧 在刀杆支架孔中插入检验棒。指示器装在插入主轴锥孔中的专用检具上，使其测头尽量靠近刀杆支架，并触及检验棒的表面 *a* 为垂直平面内 *b* 为水平面内 旋转主轴检验 *a*、*b* 项的误差应分别计算。指示器读数的最大差值的一半就是重合度误差

表 1-25 工作台中央或基准 T 形槽的直线度的检验

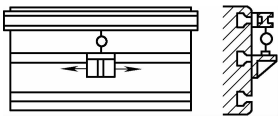
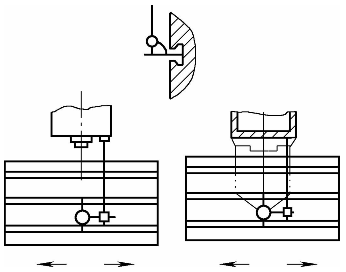
简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	工作台中央或基准 T 形槽的直线度	在任意 500mm 测量长度上为 0.01mm 最大公差值为 0.03mm	指示器、平尺、专用滑板或钢丝和显微镜	在工作台面上放两个等高块，平尺放在等高块上。将专用滑板放在工作台上并紧靠 T 形槽的一侧，其上固定指示器，使其测头触及平尺的检验面。调整平尺，使指示器读数在测量长度的两端相等。移动专用滑板检验 指示器读数的最大差值就是直线度误差

表 1-26 中央或基准 T 形槽对工作台纵向移动的平行度的检验

简 图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	中央或基准 T 形槽对工作台纵向移动的平行度	在任意 300mm 测量长度上为 0.015mm 最大公差值为 0.040mm	指示器	工作台位于横向行程的中间位置，床鞍、升降台锁紧 固定指示器，使其测头触及 T 形槽的侧面。移动工作台检验 指示器读数的最大差值就是平行度误差

（16）主轴旋转轴线对工作台中央或基准T形槽的垂直度的检验（仅适用于卧式铣床）（见表1-27）

（17）工作台回转中心对主轴旋转轴线及工作台中央T形槽的偏差的检验（仅适用于卧式万能铣床）（见表1-28）

表 1-27　主轴旋转轴线对工作台中央或基准 T 形槽的垂直度的检验（仅适用于卧式铣床）

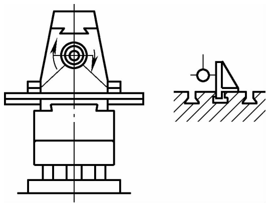
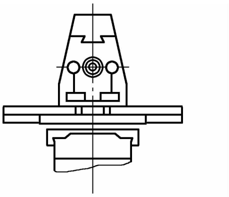
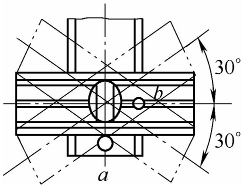
简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
	主轴旋转轴线对工作台中央或基准T形槽的垂直度（仅适用于卧式铣床）	0.02/300（300为指示器两测点间的距离）	指示器、专用检验棒、专用滑板	工作台位于纵、横向行程的中间位置，工作台、床鞍、升降台锁紧 将专用滑板放在工作台上并紧靠T形槽的一侧。指示器装在插入到主轴锥孔中的专用检验棒上，使其测头触及专用滑板的检验面。移动滑板后旋转主轴检验 拔出检验棒，旋转180°，插入到主轴锥孔中，重复检验一次 两次测量结果的代数和的一半就是垂直度误差

表 1-28　工作台回转中心对主轴旋转轴线及工作台中央 T 形槽的偏差的检验

（仅适用于卧式万能铣床）

简　　图	检验项目	公差/mm	检验工具	检验方法
  	工作台回转中心对主轴旋转轴线及工作台中央T形槽的偏差（仅适用于卧式万能铣床） a为工作台回转中心对主轴旋转轴线的偏差 b为工作台回转中心对中央T形槽的偏差	a为0.05 b为0.08	指示器 专用检具	工作台位于纵向行程的中间位置，升降台和床鞍锁紧 在主轴锥孔中插入检验棒。专用检具用T形槽定位，并固定在工作台面上，调整工作台，使检具的两平行检验面与检验棒侧母线平行，并使两边距离相等 在悬梁上固定指示器，使其测头触及专用检具的圆柱检验面 a为垂直于T形槽 b为平行于T形槽 先将工作台顺时针转30°，记下指示器的读数，然后将工作台逆时针转60°检验 指示器在a处读数的最大差值就是工作台回转中心对主轴旋转轴线的偏差，在b处读数的最大差值就是工作台回转中心对中央T形槽的偏差

2. 常用铣床（卧式和立式升降台铣床）**的工作精度检验**

铣床工作精度的检验是通过标准试件的铣削，对铣床在工作状态下的综合性动态检验。标准试件的形状和尺寸见图1-21，试件的尺寸及公差见表1-29。

试件材料及铣削条件如下：

1）试件材料：灰铸铁（HT200）。

2）切削刀具：套式高速工具钢面铣刀，铣刀直径小于或等于60mm。

3）铣削用量：铣削速度 $v_c \geq 50$m/min；进给速度 $v_f = 40 \sim 60$mm/min；铣削深度 $a_p =$ 0.1～0.4mm。

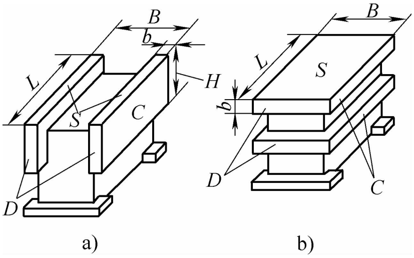


图1-21 标准试件的形状和尺寸

a）卧铣试件 b）立铣试件

表1-29 试件的尺寸及公差 （单位：mm）

试件尺寸	工作台面宽度	B	L	H	b
	≤250	100	250	100	20
	>250	150	400	150	
公差					
检验项目 \ 级别			1级	2级	3级
平面度（卧铣试件 C 面，立铣试件 S 面）			0.02	0.03	0.04
S 面对基面的平行度			0.03	0.045	0.06
C、D、S 三面间的垂直度	测量长度	100	0.02	0.03	0.04
		150	0.025	0.037	0.05
		250	0.03	0.045	0.06
		400	0.05	0.075	0.10
加工面表面粗糙度 Ra/μm			1.6	3.2	6.3

试切前，应确保试件底面平直，试件应位于工作台纵向的中心线上，使长度 L 相等地分布在工作台中心的两边。

铣床非工作滑动面在铣削时均应锁紧。铣刀应装在刀杆上刃磨，安装时应符合下列要求：

1）圆度≤0.02mm。

2）径向跳动≤0.02mm。

3）轴向窜动≤0.03mm。

1.7 铣床的空运转试验与维护保养

1.7.1 铣床的空运转试验

在铣床正式投入生产操作前进行空载运转，是为了考查铣床是否处于可以正常工作的状态，检测机床的各项动作是否正常可靠。

（1）铣床空运转试验的准备工作

1）机床置于自然水平状态，一般不用地脚螺栓固定。

2）清除各部件滑动面的污物，用煤油清洗后再用全损耗系统用油润滑。

3）用0.03mm塞尺检查各固定结合面的密合度，要求不能插入；检查各滑动导轨的端部，塞尺插入深度不应大于20mm。

4）检查各润滑油路装置是否正确，油路是否畅通。

5）按润滑图表规定的油质、品种及数量，在机床各润滑处注入润滑油。

6）用手动操纵，在全程上移动所有可移动的部件，检查移动是否轻巧均匀，动作是否正确，定位是否可靠，手轮的作用力是否符合规定的技术要求。

7）检查限位装置是否齐全、可靠。

8）检查电动机的旋转方向，如不符合机床铭牌上注明的方向，应予以改正。

9）在摇动手轮（或手柄）时，特别是使用机动进给时，工作台各个方向的夹紧手柄应松开。

10）开动机床时，检查手轮、手柄能否自动脱开，以免击伤操作者。

（2）铣床空运转的项目

1）空运转时，从低级转速逐级加快到最高转速，每级转速的运转时间不少于2min，在最高转速的时间不少于30min，主轴轴承的稳定温度不得超过60℃。

2）起动进给箱电动机，应用纵向、横向及垂直方向进给，进行逐级运转试验及快速移动试验。各进给量的运转时间不少于2min；在最高进给量运转至稳定温度时，各轴承温度不得超过50℃。

3）在所有转速的运转试验中，机床各工作机构应平稳正常，无冲击振动和周期性的噪声。

4）在机床运转时，润滑系统各润滑点应保证获得连续和数量足够的润滑油，各轴承盖、油管接头及操纵手柄轴端均不得有漏油现象。

1.7.2 铣床的维护与保养

铣床的维护保养对铣床的使用寿命、精度保持和生产效率等影响非常大。铣床的维护与保养工作应注意以下几个方面：

1）新铣床操作前，应仔细阅读说明书及有关技术资料。

2）每工作班操作之前，必须先把铣床的各个部位擦拭干净。

3）对铣床的润滑系统，应根据铣床说明书的要求按时加油或更换润滑油。对要求每班工作前、后需要加油的部位，如各个注油孔、手拉液压泵、钮式润滑阀等，都应按时注油或拉、揿；对丝杠、导轨等，在每班工作前、后均应擦净和加润滑油。各处的油标、油窗要经常观察是否正常。

4）在正式投入生产操作之前，应检查铣床的各个运转部位是否完好，并检查各个手柄和旋钮是否处在合理的位置上。

5）铣床工作台和主轴各个部件不能用硬物大力敲击，工件和夹具都要稳拿轻放，工作台面上不准乱放工具和工件毛坯等杂物。

6）严格执行岗位责任制度。操作过程中要集中精力，绝对不能在铣床运转时分散注意力，甚至离开工作岗位。

7）铣床不能超负荷工作。加工的工件和使用的夹具的重量不能超过铣床的载重量（见说明书）。

8）精度高的铣床，切削用量不能太大，也不宜用大直径的单齿或双齿盘铣刀作冲击性切削。

9）及时发现和排除铣床故障，切忌让铣床带故障工作。在铣削过程中，如发现铣床有异常现象和响声，应立即停机，并报请机修人员及时检修。

10）加工完毕，交班前，应将铣床擦拭干净。擦拭时，应用软布和毛刷清除切屑和油污，切忌用粗硬的物体擦拭铣床，更禁忌用压缩空气吹除污物，以免有细小的切屑和灰尘等杂物嵌入运动部分。

11）铣床在运转500h后，一定要进行一级保养。保养操作以操作人员为主，维修人员配合进行。铣床一级保养的具体内容和要求见表1-30。

表1-30 铣床一级保养的具体内容和要求

序号	保养部位	保养内容和要求
1	外部	1）机床外表清洁，各外罩保持内外清洁，无锈蚀 2）清洁机床附件，并涂抹防锈油 3）清洁各丝杠部位
2	传动系统	1）修光导轨毛刺，调整镶条 2）调整丝杠螺母间隙，丝杠轴向不允许有窜动 3）调整离合器摩擦片的间隙 4）调整V带

（续）

序号	保养部位	保养内容和要求
3	冷却系统	1）清洁过滤网、切削液槽，应无沉淀物、无切屑 2）根据切削液的质量，更换切削液
4	润滑系统	1）油路应畅通无阻，油毛毡应清洁、无切屑，油窗应明亮 2）检查手揿油泵，内外均应清洁、无油污 3）检查油质，应保持良好，如有变质，应更换
5	附件部分	清洁全部附件，应保证清洁、整齐、无锈迹
6	电器部分	1）清扫电器箱，电动机 2）检查各限位装置，应保证安全、可靠

1.8 常用铣床的故障排除与安全操作

1.8.1 常用铣床故障的原因及排除方法

1. 铣削时振动大

铣削时振动大，容易损坏刀具，导致加工工件表面粗糙度值增大，不能采用顺铣和不能按正常的铣削用量加工。铣削时振动大的原因及排除方法如下。

（1）主轴松动　主轴松动的原因主要是主轴轴承间隙过大和主轴轴承的滚道产生点蚀。前者可通过调整主轴轴承的间隙来解决，后者则需要更换轴承。

（2）工作台松动　工作台松动的主要原因是工作台导轨镶条太松，需重新调整导轨镶条的松紧程度，可通过0.03mm塞尺来控制。如果导轨镶条不直，则应修刮或更换镶条。

（3）工作台丝杠、螺母间隙大　解决的方法是重新调整间隙，通过蜗杆调整好可调螺母的位置，使丝杠、螺母之间的间隙合适，并拧紧紧固螺钉（见图1-19）。

（4）其他因素

1）机床基础不良，则应按要求重建机床基础。

2）主电动机振动大，可对主电动机转子进行动平衡。

3）主传动齿轮运动不平稳、噪声大，则应通过检查后更换不合格的齿轮。

4）铣刀盘锥度与锥孔不吻合或铣刀盘未拉紧，则应检查和修磨锥度和拉紧铣刀盘。

2. 手摇工作台纵向移动过程中松紧不均匀

产生的原因主要是丝杠弯曲或局部磨损；丝杠轴线与纵向导轨不平行等。前者应校直、修理或更换丝杠；后者则应重新校装丝杠并铰定位销孔。

3. 升降台低速升降时爬行

产生的原因是立柱导轨压铁未松开和润滑不良，前者应松开并调整压铁，后者应保持良好的润滑。

4. 工作台快速进给不能起动或脱不开

工作台快速进给不能起动的主要原因是摩擦离合器间隙过大，需对离合器进行检修，同时也应检查电磁铁是否失效。工作台快速进给脱不开的主要原因是电磁铁的剩磁太大或慢速复位弹簧的弹力不足，应由电工和机修工进行修理和调整。这种故障出现的几率很小，但危险性很大，应予以特别注意。

5. 进给系统安全离合器失灵

进给系统安全离合器失灵有两种表现：一是稍受一些阻力，工作台即停止进给；另一种是进给超负荷时，进给不能自动停止。安全离合器失灵的主要原因是离合器调节的转矩不当。应重新调节安全离合器，以157~196N·m的转矩能转动为宜。

6. 主轴转动不良或无法起动

按下“停上”按钮后，主轴不能在0.5s内停转甚至出现反转，其原因是主轴制动装置调整不当或电路继电器失灵。若按动按钮后主轴无法起动，电动机有“嗡嗡”声，则应是电器故障，需由机修工和电工进行修理。

7. 变速齿轮不易啮合

主轴变速时，出现变速手柄推不到原位，其原因是变速微动开关未起到导通作用，应由电工检修。

8. 工作台横向和垂直方向进给操纵手柄失灵或手动与机动联锁装置失灵

工作台横向和垂直方向进给操纵手柄失灵时，工作台无横向或垂直方向进给，甚至两个方向同时进给。此故障的主要原因鼓轮位置变动或电气开关触杆位置变动，应由电工和机修人员进行调整和修理。至于横向和垂直方向手动与机动联锁装置失灵，故障的主要原因是联锁装置中的带动杠杆或挡销脱落，需请机修人员检修。

1.8.2 铣床的安全操作

铣床的安全操作包括加工工件的质量安全以及操作人员和设备的安全。为了达到既保证加工工件的质量又实现安全生产的目的，铣床操作人员必须遵守《切削加工通用工艺手则》（见表 1-31）和《铣削加工通用工艺手则》（见表 1-32）。此外，还必须注意以下几点：

表 1-31 切削加工通用工艺手则

项目		主要规则
加工前的准备		1）操作者接到加工任务后，首先要检查加工所需的产品图样、工艺规程和有关技术资料是否齐全 2）要看懂、看清工艺规程、产品图样及其技术要求，如果有疑问之处，应找有关人员问清再进行加工 3）按产品图样或（和）工艺规程复核工件毛坯或半成品是否符合要求，发现问题应及时向有关人员反映，待问题解决后才能进行加工 4）按工艺规程要求准备好加工所需的全部工艺装备，发现问题及时处理。对新夹具、模具等，要先熟悉其使用要求和操作方法 5）加工所用的工艺装备应放在规定的位置，不得乱放，更不能放在机床导轨上 6）工艺装备不得随意拆卸和更改 7）检查加工所用的机床设备，准备好所需的各种附件。加工前，机床要按规定进行润滑和空运转
刀具、工件的装夹	刀具的装夹	1）在装夹各种刀具前，一定要把刀柄、刀杆、导套等擦拭干净 2）刀具装夹后，应用对刀装置或试切等检查其正确性
	工件的装夹	1）在机床工作台上安装夹具时，首先要擦净其定位基面，并要找正其与刀具的相对位置 2）工件装夹前，应将其定位面、夹紧面、垫铁和夹具的定位、夹紧面擦拭干净，并不得有毛刺 3）按工艺规程中规定的定位基准装夹，若工艺规程中未规定装夹方式，操作者可自行选择定位基准和装夹方法。选择定位基准应按以下原则 ①尽可能使定位基准与设计基准重合 ②尽可能使各加工面采用同一定位基准 ③粗加工定位基准应尽量选择不加工或加工余量比较小的平整表面，而且只能使用一次 ④精加工工序定位基准应是已加工表面 ⑤选择的定位基准必须使工件定位夹紧方便，加工时稳定可靠 4）对无专用夹具的工件，装夹时应按以下原则进行找正 ①对划线工件，应按划线进行找正 ②对不划线工件，在本工序后尚需继续加工的表面，找正精度应保证下工序有足够的加工余量 ③对在本工序加工到成品尺寸的表面，其找正精度应小于尺寸公差和位置公差的 1/3

（续）

项目		主要规则
刀具、工件的装夹	工件的装夹	5）装夹组合件时，应注意检查结合面的定位情况 6）夹紧工件时，夹紧力的作用点应通过支承点或支承面。对刚性较差的（或加工时有悬空部分的）工件，应在适当的位置增加辅助支承，以增强其刚性 7）夹持精加工面和软材质工件时，应垫以软垫，如纯铜皮等 8）用压板压紧工件时，压板支承点应略高于被压工件表面，并且压紧螺栓应尽量靠近工件，以保证压紧力
加工要求		1）为了保证加工质量和提高生产率，应根据工件材料、精度要求和机床、刀具、夹具等情况，合理选择切削用量。加工铸件时，为了避免表面夹砂、硬化层等损坏刀具，在许可的条件下，背吃刀量应大于夹砂或硬化层深度 2）对有公差要求的尺寸，在加工时应尽量按其中间公差加工 3）工艺规程中未规定表面粗糙度要求的粗加工工序，加工后的表面粗糙度值 Ra 应不大于 25μm 4）铰孔前的表面粗糙度值 Ra 应不大于 12.5μm 5）精磨前的表面粗糙度值 Ra 应不大于 6.3μm 6）粗加工时的倒角、倒圆、槽深等都应按精加工余量加工或加深，以保证精加工后达到设计要求 7）凡下工序需进行表面淬火、超声波探伤或滚压加工的工件表面，在本工序加工的表面粗糙度值 Ra 不得大于 6.3μm 8）在本工序后无法进行去毛刺工序时，本工序加工产生的毛刺应在本工序去除 9）在大件的加工过程中，应经常检查工件是否松动，以防因松动而影响加工质量或发生意外事故 10）当粗、精加工在同一台机床上进行时，粗加工后一般应松开工件，待其冷却后重新装夹 11）在切削过程中，若机床—刀具—工件系统发出不正常的声音或加工表面粗糙度突然变坏，应立即退刀，停车检查 12）在批量生产中，必须进行首件检查，合格后方能继续加工 13）在加工过程中，操作者必须对工件进行自检 14）检查时，应正确使用测量器具。使用量规、千分尺等时，必须轻轻用力推入或旋入，不得用力过猛；使用卡尺、千分尺、指示表等时，事先应调好零位
加工后的处理		1）工件在各工序加工后，应做到无屑、无水、无脏物，并在规定的工位器具上摆放整齐，以免磕、碰、划伤等 2）暂不进行下道工序加工或精加工后的表面应进行防锈处理 3）用磁力夹具吸住进行加工的工件，加工后应进行退磁 4）凡相关零件成组配加工的，加工后需做标记（或编号） 5）各工序加工完的工件经专职检查员检查合格后，方能转往下道工序 6）工艺装备用完后要擦拭干净（涂好防锈油），放到规定的位置或交还工具库 7）产品图样、工艺规程和所使用的其他技术文件，要注意保持整洁，严禁涂改

表 1-32　铣削加工通用工艺手则

项　　目	主　要　规　则
铣刀的选择及装夹	1）铣刀直径及齿数的选择 ①铣刀直径应根据铣削宽度、深度选择，一般铣前宽度和深度越大、越深，铣刀直径也应越大 ②铣刀齿数应根据工件材料和加工要求选择，一般铣削塑性材料或粗加工时，选用粗齿铣刀；铣削脆性材料或半精加工、精加工时，选用中、细齿铣刀 2）铣刀的装夹 ①在卧式铣床上装夹铣刀时，在不影响加工的情况下，尽量使铣刀靠近主轴，支架靠近铣刀。若需铣刀离主轴较远时，应在主轴与铣刀间装一个辅助支架 ②在立式铣上装夹铣刀时，在不影响铣削的情况下，尽量选用短刀杆 ③铣刀装夹好后，必要时应用指示表检查铣刀的径向跳动和端面跳动 ④若同时用两把圆柱形铣刀铣宽平面时，应选螺旋方向相反的两把铣刀
工件的装夹	1）在机用虎钳上装夹 ①要保证机用虎钳在工作台上的正确位置，必要时应用指示表找正固定钳口面，使其与机床工作台运动方向平行或垂直 ②工件下面要垫放适当厚度的平行垫铁，夹紧时，应使工件紧密地靠在平行垫铁上 ③工件高出钳口或伸出钳口两端不能太多，以防铣削时产生振动 2）使用分度头（装夹）的要求 ①在分度头上装夹工件时，应先锁紧分度头主轴。在紧固工件时，禁止用管子套在手柄上施力 ②调整好分度头主轴仰角后，应将基座上部四个螺钉拧紧，以免零位移动 ③在分度头两顶尖间装夹轴类工件时，应使前后顶尖的轴线重合 ④用分度头分度时，分度手柄应朝一个方向摇动，如果摇过位置，需反摇多于超过的距离再摇回到正确位置，以消除间隙 ⑤分度时，手柄上的定位销应慢慢插入分度盘的孔内，切勿突然撒手，以免损坏分度盘
铣削加工	1）铣削前，把机床调整好后，应将不用的运动方向锁紧 2）机动快速趋进时，靠近工件前应改为正常进给速度，以防刀具与工件撞击 3）铣螺旋槽时，应按计算选用的挂轮（交换齿轮）先进行试切，检查导程与螺旋方向是否正确，合格后才能进行加工 4）用成形铣刀铣削时，为提高刀具寿命，铣削用量一般应比圆柱形铣刀小 25% 左右 5）用仿形法铣成形面时，滚子与靠模要保持良好接触，但压力不要过大，使滚子能灵活转动 6）切断时，铣刀应尽量靠近夹具，以增加切断时的稳定性 7）顺铣与逆铣的选用 ①在下列情况下建议采用逆铣：铣床工作台丝杠与螺母的间隙较大，又不便调整时；工件表面有硬质层、积渣或硬度不均匀时；工件表面凸凹不平较显著时；工件材料过硬时；阶梯铣削时；切削深度较大时 ②在下列情况下建议采用顺铣：铣削不易夹牢或薄而长的工件时；精铣时；切断胶木、塑料、有机玻璃等材料时

1）开动铣床前，先检查各手柄是否处于正确位置，对各个滑动部位加注润滑油，然后低速运转 3～5min，确认各部位运转正常后，再开始工作。

2）装卸工件及测量尺寸时，工件必须退离铣刀位置并停止机床转动；但工件未退离刀具前，不得停车。

3）装卸较重的工件时，要选用可靠的吊具和方法，工件的装夹要牢固。

4）正确安装刀具，经常检查刀具磨损及紧固的情况。

5）铣床各滑动面上应清洁无物，主轴锥孔、工作台面等安装基准面上应清洁无伤痕，并且定期加注润滑油。

6）禁止在机床上重力敲击工件，禁止踩踏机床工作台面或放置有损工作台表面的物件。

7）铣床主轴变速操作时，一般不宜连续变换超过三次，否则，每次变速应间隔 5min 后再进行下一次变速，以免因起动电流过大而烧坏电动机电路。

8）工作台的纵向、横向、垂直方向手动进给操作时，当要求工作台向某一方向移动规定距离时，如果手柄摇过头，不能直接退回到要求的刻线处，应将手柄退回一转后，再重新摇到要求的数值。

9）工作时必须集中精力，头、手不要和旋转的刀具靠得太近，不能用手去触摸铣刀，更不能用手去制动。

10）不得戴手套操作，蓄长发者要戴安全帽；不可用手直接清除切屑，也不能用口去吹切屑，要用毛刷轻轻地刷净。高速铣削时，要戴上防护眼镜，防止高速飞出的切屑损伤眼睛。铣削铸铁材料工件时，最好戴上口罩，防止将切屑粉末吸入口鼻。

11）随时注意各部位的运转情况，发现异常时，应立即停车检查，并排除故障。

12）离开机床时，必须切断电源；下班前，应使工作台在各个进给方向上均处于中间位置。

第 2 章　铣床常用刀具及辅具

2.1　铣刀

2.1.1　铣刀的类型

铣刀是铣床加工最主要的刀具。常见的铣刀分类方法有以下几种。

1. 按铣刀的用途分类

在铣床上用铣刀可以加工平面、台阶、斜面、沟槽、成形面以及切断等。图 2-1 所示为用圆柱铣刀、面铣刀、立铣刀、角度铣刀、槽铣刀、成形铣刀、锯片铣刀等进行铣削加工的示例。

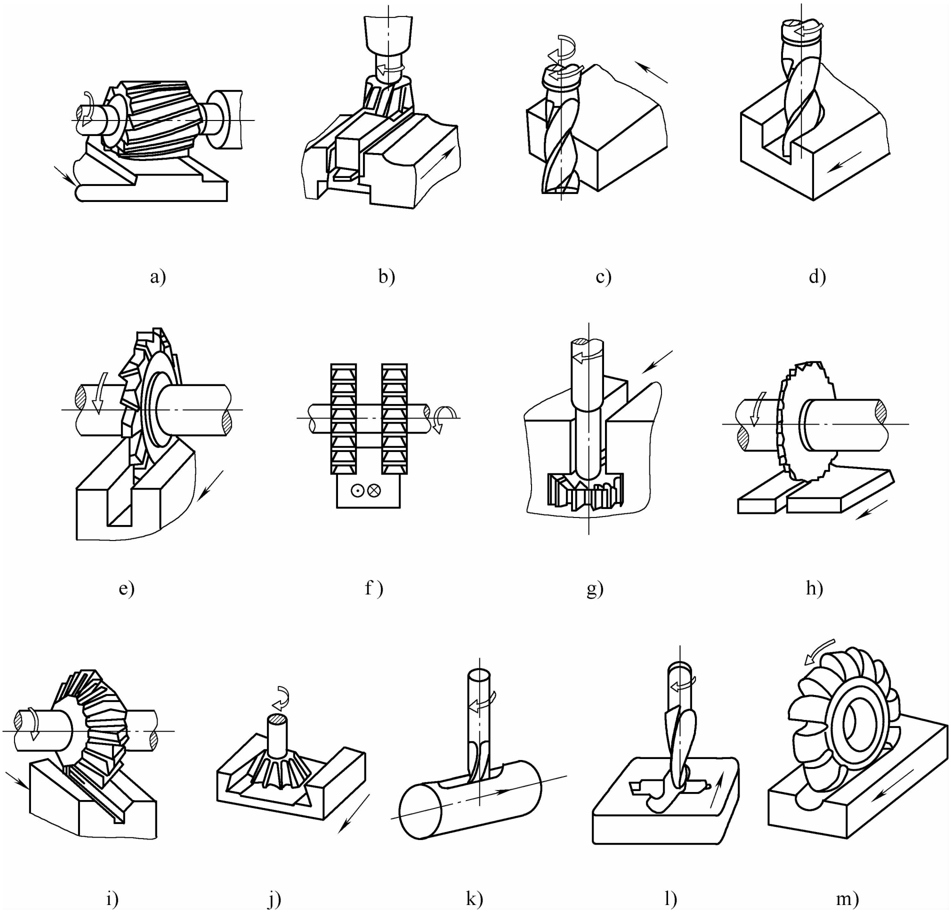


图 2-1　铣刀及其应用

a）圆柱铣刀铣平面　b）面铣刀铣平面　c）立铣刀铣垂直面　d）立铣刀铣开口槽　e）错齿三面刃铣刀铣直槽　f）组合铣刀铣双垂直面　g）T 形槽铣刀铣 T 形槽　h）锯片铣刀切断　i）角度铣刀铣 V 形槽　j）燕尾槽铣刀铣燕尾槽　k）键槽铣刀铣键槽　l）球头铣刀铣成形面　m）成形铣刀铣半圆形槽

2. 按铣刀的结构分类

按铣刀结构的不同，主要可以分为以下几种：

（1）整体铣刀　整体铣刀是将铣刀的切削部分、装夹部分及刀体制成一个整体，这类铣刀多用高速钢整料制成。直径不大的立铣刀、锯片铣刀、角度铣刀和圆柱铣刀常采用这种结构（见图 2-2）。

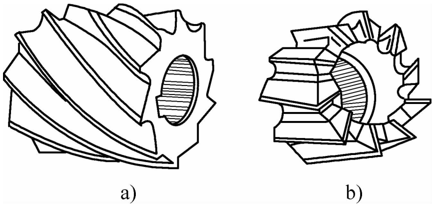


图 2-2　整体式铣刀

a）圆柱铣刀　b）面铣刀

（2）镶齿铣刀　镶齿铣刀（见图 2-3）的刀体为结构钢，刀齿是高速钢。刀体和刀片利用尖齿形槽镶嵌在一起。直径较大的套式面铣刀、三面刃铣刀和面铣刀常采用这种结构。

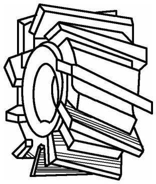


图 2-3　镶齿铣刀

（3）焊接式铣刀　将硬质合金刀片焊在结构钢的刀体上，制成焊接式铣刀。图 2-4 所示为焊接式立铣刀。

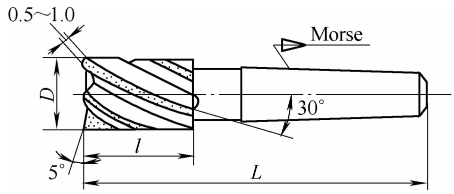


图 2-4　焊接式立铣刀

（4）机械夹固式铣刀　将硬质合金刀片用机械夹固的方式夹压在结构钢的刀体上，可制成机械夹固式铣刀。图 2-5 所示为硬质合金机械夹固式立铣刀。

如将硬质合金刀片焊在刀头上，再将刀头用机械夹固的方式夹压在刀体上，则可构成机夹焊接式面铣刀（见图 2-6）。大直径的面铣刀常采用这种结构。

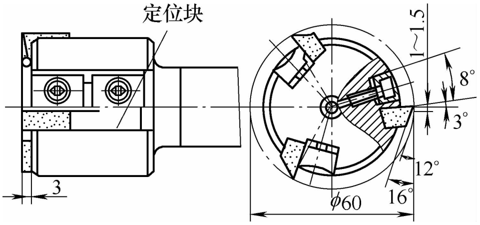


图 2-5　硬质合金机械夹固式立铣刀

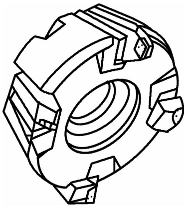


图 2-6　机夹焊接式面铣刀

（5）可转位铣刀（见图 2-7）　这种铣刀是用机械夹固的方式将硬质合金刀片或其他材料刀片装在刀体上，切削刃磨损后，可将刀片转过一个位置继续使用，因而可以节省刀片材料和加工时的辅助时间（拆刀、装刀、刃磨等），提高生产效率。

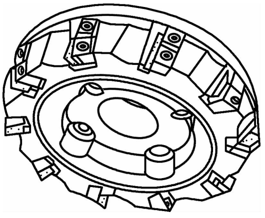


图 2-7　可转位铣刀

3. 按铣刀刀齿的构造分类

按铣刀刀齿的构造分类，可分为尖齿铣刀和铲齿铣刀，分述如下。

（1）尖齿铣刀　在尖齿铣刀刀齿的断面上，齿背是由直线或曲线构成的。常用的圆柱铣刀、三面刃铣刀等都是尖齿铣刀，其齿背的形状见图 2-8。其中，图 2-8a 为直线齿背，特点是制造方便，但刀齿强度较弱，重磨次数较少，适用于细齿铣刀；图 2-8b 为折线齿背，这种齿背增大了刀齿强度和重磨次数，适用于粗齿铣刀；图 2-8c 所示的曲线齿背，使刀齿

的任意截面上的抗弯强度基本相等，可用于切削负荷较重的粗齿铣刀，但这种尖齿铣刀刀具成本较高，一般应用于成批生产中。

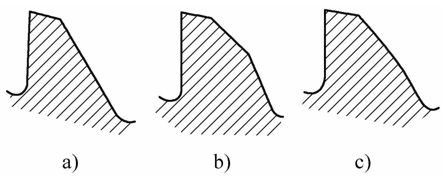


图2-8 尖齿铣刀齿背的形状
a）直线齿背 b）折线齿背 c）曲线齿背

（2）铲齿铣刀 由图2-9可见，铲齿铣刀的齿背曲线为阿基米德螺旋线，是在铲齿机床（车床、磨床）上加工出来的。这类铣刀的主要优点是刀具每次重磨时只刃磨前刀面，刃磨后能保持铣刀的断面形状不变。因此，铲齿铣刀多用于成形铣刀，如齿轮铣刀、凸半圆铣刀、凹半圆铣刀等。

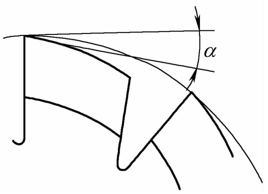


图2-9 铲齿铣刀齿背的形状

2.1.2 铣刀切削部分的材料

铣刀切削性能的优劣取决于构成铣刀切削部分的材料及几何形状，故铣刀切削部分的材料对铣刀的使用寿命、加工质量、效率和成本都有很大的影响。铣刀切削时，要承受高温、高压、强烈的摩擦、冲击和振动。因此，铣刀切削部分的材料必须具备以下性能：

（1）高的硬度和耐磨性 刀具切削部分材料的硬度必须高于被切削材料的硬度。常温下，刀具材料的硬度要求在60HRC以上。通常，刀具材料的硬度越高，耐磨性越好。

（2）足够的强度和韧性 为使刀具在切削力、冲击和振动的条件下工作时不会产生崩刃或折断，刀具材料必须具有足够的强度和韧性。

（3）高的耐热性 耐热性是指刀具切削部分材料在高温下仍然保持其硬度、耐磨性、强度和韧性，即保持其切削性能，这是刀具材料性能中关键的一项。

（4）良好的工艺性能 为了便于刀具的制造，要求刀具材料具有良好的锻造、焊接、热处理和切削加工性能等。

刀具切削部分材料的种类很多，常用的铣刀材料有高速钢、硬质合金、陶瓷、金刚石、立方氮化硼等。为了正确选用铣刀材料，必须熟悉它们在性能上的差别，才能根据加工的具体条件综合考虑，合理选择。刀具切削部分材料的性能比较见表2-1。以下着重介绍铣刀切削部分常用的材料。

1. 高速钢

高速钢是含较多的钨、铬、钼、钒等合金元素的高合金工具钢。高速钢有较高的硬度（63～66HRC）、耐磨性和耐热性（600～650℃），有足够的强度和韧性，工艺性好，制造、刃磨方便，广泛用于制造形状复杂的铣刀、拉刀、钻头、齿轮刀具等。

高速钢按其性能分类，可分为通用高速钢和高性能高速钢，其性能、用途和刃磨要求都有较大的差别。只有充分了解和正确选用，才能有效地发挥高性能高速钢的切削能力，达到提高生产率的目的，高速钢的分类、牌号、性能及用途见表2-2。

2. 硬质合金

硬质合金也是铣刀常用的材料。按其化学成分与使用特性，可分为以下几类：

1）钨钛钴合金（YT），由WC+TiC+Co组成，用于加工长切屑的黑色金属（如钢件）。

2）钨钴合金（YG），由WC+Co组成，用于加工短切屑的黑色金属（如铸铁）、有色金属和非金属材料。

3）添加稀有金属碳化物的合金（YW），又称通用合金。它由WC+TiC+TaC（NbC）+Co组成，用于加工长或短切屑的黑色金属或有色金属。

4）碳化钛基硬质合金（YN），主要由TiC+Ni+Mo组成。它既可以加工钢件也可以加工铸铁，硬度高、耐磨性好，主要用于半精加工与精加工。

表 2-1 刀具切削部分材料的性能比较

（优劣顺序：优 → 劣）

耐磨性

优劣顺序	类别	材料
1		金刚石（10000HV）
2		立方氮化硼（8000～9000HV）
3		陶瓷（91～94HRA）
4	硬质合金	YT30、YN10、YG3X YW1、YG6X、YG6A （≥91HRA）
5	硬质合金	YT14、YW2、YG6 YT5（89～90.5HRA）
6	硬质合金	YG8、YG8C （87～89HRA）
7	高速工具钢	W12Mo3Cr4V3Co5Si W10Mo4Cr4V3Al W6Mo5Cr4V2Al W6Mo5Cr4V5SiNbAl W2Mo9Cr4VCo8 （67～70HRC）
8	高速工具钢	9W18Cr4V W12Cr4V4Mo CW6Mo5Cr4V2 （65～67HRC）
9	高速工具钢	W14Cr4VMnXt W6Mo5Cr4V2 W9Mo3Cr4V W18Cr4V （63～66HRC）
10		合金工具钢 碳素工具钢 （60～65HRC）

耐热性

优劣顺序	类别	材料
1		立方氮化硼（1400～1500°C）
2		陶瓷（>1200°C）
3	硬质合金	YW 与 YN 类（>1000°C）
4	硬质合金	YT 类（900～1000°C）
5	硬质合金	YG 类（800～900°C）
6		金刚石（700～800°C）
7	高速工具钢	W2Mo9Cr4VCo8 W12Mo3Cr4V3Co5Si W10Mo4Cr4V3Al W6Mo5Cr4V2Al W6Mo5Cr4V5SiNbAl W12Cr4V4Mo （620～650°C）
8	高速工具钢	9W18Cr4V CW6Mo5Cr4V2 （600～625°C）
9	高速工具钢	W14Cr4VMnXt W18Cr4V W9Mo3Cr4V W6Mo5Cr4V2 （540～600°C）
10		合金工具钢（250～300°C）
11		碳素工具钢（200°C 以下）

坚韧性①

优劣顺序	类别	材料
1		碳素工具钢
2		合金工具钢
3	高速工具钢	W6Mo5Cr4V2 W9Mo3Cr4V
4	高速工具钢	W6Mo5Cr4V5SiNbAl
5	高速工具钢	W18Cr4V W14Cr4VMnXt CW6Mo5Cr4V2
6	高速工具钢	W10Mo4Cr4V3Al W6Mo5Cr4V2Al W2Mo9Cr4VCo8 W12Cr4V4Mo
7	高速工具钢	9W18Cr4V
8	高速工具钢	W12Mo3Cr4V3Co5Si
9	硬质合金	YG8C
10	硬质合金	YG8
11	硬质合金	YG6、YT5 YW2、YW1
12	硬质合金	YG6X、YG3X、 YT14、YT30、 YN10
13		陶瓷
14		立方氮化硼
15		金刚石

可磨削性

优劣顺序	类别	材料
1		碳素工具钢 合金工具钢
2	高速工具钢	W18Cr4V W9Mo3Cr4V 9W18Cr4V W2Mo9Cr4VCo8 W14Cr4VMnXt
3	高速工具钢	W6Mo5Cr4V2 W6Mo5Cr4V2Al CW6Mo5Cr4V2
4	高速工具钢	W12Mo3Cr4V3Co5Si W10Mo4Cr4V3Al W12Cr4V4Mo W6Mo5Cr4V5SiNbAl
5	硬质合金	YG 类
6	硬质合金	YT 类：YT5 YT14 YT30
7		陶瓷
8		立方氮化硼
9		金刚石

① 坚韧性是指刀具能承受振动、压力和冲击负荷的能力，它综合反映了刀具材料的抗弯强度、抗压强度和冲击韧性三项力学性能。

表 2-2 高速钢的分类、牌号、性能及用途

类别	钢号	硬度 HRC	600℃时的硬度 HRC	特　点	适用范围
通用型高速钢	W18Cr4V(W18)	63～66	48.5	耐热性中等，可磨性好(可用普通砂轮磨削)，淬火范围较高，不易过热，强度较好，热塑性差	加工一般钢与铸铁，可制造各种刀具，但不宜用热成形法制造刀具

（续）

类别		钢号	硬度 HRC	600℃时的硬度 HRC	特　点	适用范围
通用型高速钢		W6Mo5Cr4V2(M2)	63～66	47～48	强度高，热塑性好、韧性高、耐热性稍次于 W18Cr4V，脱碳敏感性较大	加工一般钢与铸铁，可制造轧制刀具及其他要求热塑性好的刀具以及受冲击力大的刀具
		W14Cr4VMnXt①	64～66	50.5	与 W18Cr4V 相当，但改善了热塑性	加工一般钢与铸铁，可制造各种刀具
		W9Mo3Cr4V①	63～66		耐热性、热塑性、热处理性能均较好，综合性能优于 W18 与 M2	加工一般钢与铸铁，可制造各种刀具
高性能高速钢	高碳高钒	W12Cr4V4Mo(EV4)	66～67	52	因含钒量高，故硬度及耐磨性高，但强度及韧性较低，耐热性比通用型高速钢高。可磨性差，需用单晶钢玉砂轮磨制	用于制造对耐磨性要求高的刀具
		W6Mo5Cr4V3(M3)	65～67	51.7		
		W9Cr4V5	63～66	51		
	含钴	W6Mo5Cr4V2Co8 (M36)	66～68	54	加钴后高温硬度显著提高，但强度及冲击韧度较低，不宜受冲击。可磨性好	用于加工高温合金、钛合金、奥氏体不锈钢等难加工材料
	高碳高钒含钴	W12Cr4V5Co5(T15)	66～68	54	综合含钒钢耐磨性好与含钴钢耐热性高的优点。但可磨性差，需用单晶刚玉砂轮磨削	用于加工高温合金、不锈钢等，但因难磨，不宜做复杂刀具
		W9Cr4V5Co3	63～67	52		
	含钴超硬型	W2Mo9Cr4VCo8 (M42)	67～69	55	耐热性高，强度和韧性也较好。可磨性好。可谓综合性能好，但价格贵	用于加工高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料，可做各种刀具
		W7Mo4Cr4V2Co5 (M41)	67～69	54	可磨性次于 W2Mo9Cr4VCo8	
		W9Mo3Cr4V3Co10	66～69	54	与 W2Mo9Cr4VCo8 性能相当，但强度和韧性较低，可磨性差	
		W12Cr4V3Mo3Co5Si① (Co5Si)	67～69	54	为低钴超硬高速钢，性能与高钴高速钢相近，可磨性差	
	无钴超硬型	W6Mo5Cr4V2Al① (M2A，501)	67～69	55	性能与 W2Mo9Cr4VCo8 相近，但可磨性稍差，过热敏感性稍大。价格便宜	可代替高钴高速钢加工难加工材料
		W6Mo5Cr4V5SiNbAl① (B201)	66～68	51	耐磨性高、耐热性高、可磨性差	
		W10Mo4Cr4V3Al① (5F-6)	67～69	54	耐磨性高、耐热性高，可磨性稍差	
		9W18Cr4V(9W18)①	66～68	51	性能介于通用型与超硬型高速钢之间，热处理范围宽，可磨性好，韧性低于 W18Cr4V	可加工韧性和硬度较高的材料，如不锈钢。可部分代替钴高速钢

① 我国近年来发展的新型高速钢。

5）钢结硬质合金，是由硬质合金的碳化物（WC、TiC）与高速钢（或其他钢种）构成的一种合金。它既具有一般工具钢的工艺性能，又有介于高速钢与硬质合金之间的切削性能；热处理后的硬度可达 70 ~ 72HRC，刀具寿命可比高速钢提高几倍。它适于代替高速钢制造多种刀具，尤其是制造形状比较复杂的刀具，是一种介于高速钢与硬质合金之间的高强度硬质合金。

6）涂层硬质合金，一般是在硬质合金基体（硬质合金不重磨刀片）上涂覆一层厚度约 5 ~ 10μm 的碳化钛（TiC）、氮化钛（TiN）、陶瓷（Al_2O_3）等硬度、耐磨性、耐热性高的材料，其表层硬度可达 2500 ~ 4200HV。涂层材料与金属的摩擦系数低，可以降低切削力与切削温度，刀具寿命平均可提高 1 ~ 3 倍。涂层硬质合金多用于黑色金属的半精加工和精加工。

由上可见，普通硬质合金（YG、YT、YW）、新型硬质合金（YN、YM 等）和涂层硬质合金在性能和用途上都存在明显的差别。只有做到合理选用，才能充分发挥各类硬质合金的切削效能，取得良好的经济效益。为了防止误选，必须熟悉各类硬质合金的牌号、性能与用途。

常用硬质合金的牌号、性能和用途见表 2-3，几种新牌号硬质合金的性能和用途见表 2-4，CN、CA、YB 系列涂层硬质合金刀片的牌号及适用范围见表 2-5，ZC 系列涂层硬质合金刀片的牌号及涂层见表 2-6。

表 2-3 常用硬质合金的牌号、性能和用途

类别	牌号	使用性能	用途	相当于 ISO①
钨钴类（WC+Co）	YG3	耐磨性仅次于 YG3X，允许采用较高的切削速度，但对冲击和振动较敏感	适于铸铁、有色金属及其合金连续切削时的精车、半精车，精车螺纹与扩孔	K01
	YG6	耐磨性较高，但低于 YG3X 及 YG6X，对冲击和振动没有 YG3 敏感，能采用较 YG8 高的切削速度	适于铸铁、有色金属及其合金与非金属材料连续切削时的粗加工，间断切削时的半精加工、精加工，连续断面的半精铣与精铣	K20
	YG8	强度较高，抗冲击、抗振性能较 YG6 好，耐磨性和允许的切削速度较低	适于铸铁、有色金属及其合金、非金属材料不平整断面和间断切削时的粗加工，一般孔和深孔的钻、扩加工	K30
	YG3X	是现在生产的钨钴类中耐磨性最好的一种，但冲击韧性较差	适于铸铁、有色金属及其合金的精加工，也可用于合金钢、淬火钢的精加工	K01
	YG6X	是细颗粒钨钴类合金，其耐磨性较 YG6 高，而强度接近于 YG6 合金	加工冷硬合金铸铁与耐热合金，可获得良好的效果，也适于普通铸铁半精加工	K10

（续）

类别	牌号	使用性能	用途	相当于 ISO①
钨钛钴类（WC+TiC Co）	YT5	是钨钛钴合金中强度最高、抗冲击和抗振动性能最好的一种，不易崩刃，但耐磨性较差	适于碳钢与合金钢（锻件、冲压件及铸件）不平整断面和间断切削的粗加工与钻孔	P30
	YT14	强度高，抗冲击和抗振性能好，但较 YT5 合金稍差，而耐磨性和允许的切削速度较高	适于碳钢与合金钢连续切削时的粗加工、间断切削时的半精加工与精加工，铸孔的扩钻与粗扩	P20
	YT15	耐磨性优于 YT5 合金，但冲击韧性较 YT5 差	适于碳钢与合金钢连续切削时的粗加工、半精加工及精加工，间断切削时的精加工，旋风切削螺纹，孔的粗扩与精扩	P10
	YT30	耐磨性和允许的切削速度较 YT15 合金高，但强度、抗冲击和抗振动性能较差，对冲击和振动敏感，焊接与刃磨工艺性较差	适于碳钢与合金钢的精加工，如精车、精镗、精扩等	P01
添加稀有金属碳化物合金	YG6A	属细晶粒合金，耐磨性和使用强度与 YG6X 相似	适于硬铸铁、球墨铸铁、有色金属及其合金的半精加工，亦可用于高锰钢、淬火钢及合金钢的半精加工和精加工	K10
	YW1	热硬性较好，能承受一定的冲击负荷，通用性较好	适于耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工钢材的精加工，也适于一般钢材、普通铸铁及有色金属的精加工	M10
	YW2	耐磨性稍次于 YW1 合金，但使用强度较高，能承受较大的冲击负荷	适于耐热钢、高锰钢、不锈钢及高级合金钢等难加工钢材的半精加工，也适于一般钢材和普通铸铁及有色金属的半精加工	M20
碳化钛基	YN05	为碳化钛基硬质合金，耐磨性接近陶瓷，耐热性极好，抗冲击及抗振性差	适于碳钢、淬硬钢、合金钢、不锈钢、铸铁和合金铸铁的高速精加工	P01
	YN10	耐磨性及热硬性较高，抗冲击和抗振动性能差，焊接及刃磨性能均较 YT30 的好	适于碳钢、合金钢、工具钢及淬硬钢的连续面精加工。对于较长件和表面粗糙度值要求小的工件，加工效果尤佳	P01 P05

（续）

类别	牌号	使用性能	用途	相当于 ISO[①]
钢结硬质合金	D1	填补了一般硬质合金与高速钢性能之间的空白，可以进行锻造、热处理和切削加工。其弱点是高温性能比硬质合金差，不宜用于高温切削	适于制作切削有色金属及其合金、耐热合金、不锈钢等材料的多刃刀具，如麻花钻头、铣刀、丝锥、扩孔钻、拉刀、滚刀等形状复杂的工具	
	T1			

① 本栏内的 K、P、M 代号的意义，参见附录 A。

表 2-4 几种新牌号硬质合金的性能和用途

牌号	硬度 HRA	使用性能	用途
YM051 (YH1)	≥93.0	系超细颗粒合金，耐磨性高、红硬性好、韧性好、通用性强	适于铁基、铁镍基和镍基高温合金、高强度钢、高锰钢的粗、精加工，淬火钢、特殊耐热不锈钢的精加工和半精加工及非金属铸石、陶瓷、花岗岩的加工
YM052 (YH2)	≥93.3	系超细颗粒合金，通用性好，红硬性高，耐磨性优良	适于特种耐热不锈钢、高锰钢、冷硬铸铁的粗、精加工，高强度钢的精加工，淬火钢、钛基高温合金的精加工及半精加工，以及玻璃制品的加工
YM053 (YH3)	≥93.0	系超细颗粒合金，耐磨性优良，红硬性好	适于高镍冷硬铸铁、球墨无限冷硬铸铁、白口铁的粗、精加工，亦适于一般铸铁的粗、精加工
YS2 (YG10H)	91.5	系亚细颗粒合金，耐磨性较好，抗冲击和抗振性能高	适于低速粗车、铣削高温合金及钛合金，作切断刀及丝锥尤佳
YD15 (YGRM)	92.0	系细颗粒合金，耐磨性优良，抗冲击性能好，抗粘结能力强	适于铣削、精车、半精车钛合金、高温合金，以及各类铸铁及高强度钢的粗车和铣削
YG8W (W4)	92.0	耐磨性及允许的切削速度较 YG8 高，抗冲击性能良好	适于加工钛合金、高温合金及耐热不锈钢
YW3	92.0	耐磨性和红硬性很高，抗冲击性能中等，韧性较好	适于耐热合金钢、高强度钢、低合金超高强度钢的精加工和半精加工，亦可在冲击小的情况下粗加工
YW4	92.0	具有极好的耐热性和抗粘结能力，通用性良好	适于碳素钢及除镍基以外的大多数合金钢、调质钢加工，尤其适于精加工耐热不锈钢
YT05	92.5	耐磨性和红硬性良好，具有足够的高温硬度和韧性	适于碳素钢、合金钢和高强度钢的精加工和半精加工，亦适于淬火钢及含钴较高的合金加工
YS30 (YTM30)	91.3	耐磨性较好，抗冲击性优良，抗月牙洼磨损良好	适于大进给量、高效率铣削各种钢材，尤其是合金钢的铣削

（续）

牌号	硬度 HRA	使用性能	用　　途
YT798	150	有较好的红硬性，强度较高，抗热振性好	适于高强度钢、高锰钢、不锈钢及一般低碳合金钢的断续车削、铣削，特别适于作铣刀及喷射钻
YT712	130	综合性能好，红硬性及耐磨性优于798	适于高强度合金钢、高速钢、高锰钢以及硅钢片组合件、中硬度合金钢的粗车、半精车
YT715	120	红硬性、耐磨性好，容许切削速度高	适于高强度合金钢的半精加工、精加工及螺纹加工
YT758	145	红硬性及抗氧化性能优于YW2	特别适于加工淬火钢、轧辊等
YT813	160	具有较高的红硬性、高温韧性，通用性好，优于YG6-X、YA6及YW2	适于加工镍基、铁基高温合金、钴合金、高锰钢、不锈钢、硬度 <50HRC 的淬火钢及钛合金
YG643M	150	有较高的耐磨性、抗氧化性能，抗粘结性能好	适于高温合金及超高强度钢的精加工及半精加工
1#	160	系细颗粒合金，具有较高的耐磨性，优于YA6	适于高温合金、不锈钢、钛合金、纯钨、纯铁的加工，宜采用大前角切削
3#	100	系细颗粒合金，优于YG3X的耐磨性	适于铸铁、有色金属及其合金的精镗，亦适用于合金钢、淬火钢的精加工
M2	170	有较好的红硬性、耐磨性和冲击韧性，综合性能好	适于高强度合金钢、高锰钢的加工，尤其适用于铣削加工
M3	190	有较好的红硬性及耐磨性，冲击韧性优于M2	适于高强度合金钢、高锰钢、反磁钢、硅钢片组合件的车削加工
T20	110	耐磨性和YT30相近，但强度高于YT30，通用性好	适于碳素钢、合金钢的精加工，并可加工60HRC左右的淬火钢
T40	90	耐磨性及允许切削速度均高于T20	可加工60HRC以上的钢材

表2-5　CN、CA、YB系列涂层硬质合金刀片的牌号及适用范围

牌号	基体材料	涂层材料		用　　途	适用范围①	对照 Sandvik 牌号
	牌号	名称	涂层厚度 /μm			
CN15	YW1	TiC + Ti(C、N) + TiN	4～9	适于各种钢材的连续切削加工和半精加工，也可适于铸铁和有色金属的精加工和半精加工	P05～P20 M10～M20 K05～K20	
CN25	YW2	TiC + Ti(C、N) + TiN	4～9	适于在各种条件下切削加工钢材、铸铁和有色金属	P10～P30 M10～M20 K10～K30	

（续）

牌号	基体材料	涂层材料		用　　途	适用范围[①]	对照 Sandvik 牌号
	牌号	名称	涂层厚度 /μm			
CN35	YT5	TiC + Ti(C、N) + TiN	4 ~ 9	适于钢材、铸铁和有色金属的连续或间断切削以及强力切削	P20 ~ P40 M20 ~ M30 K20 ~ K40	
CN16	YG6	TiC + Ti(C、N) + TiN	4 ~ 9	适于铸铁、有色金属及其合金精加工	M05 ~ M20 K05 ~ K20	
CN26	YG8	TiC + Ti(C、N) + TiN	4 ~ 9	适于铸铁、有色金属及其合金粗加工和半精加工	M10 ~ M20 K20 ~ K30	
CA15	特制	$TiC + Al_2O_3$	4 ~ 8	适于各种铸铁、有色金属和非金属材料的连续切削精加工和半精加工，也适于淬硬钢、不锈钢和高温合金的精加工和半精加工	P05 ~ P35 M05 ~ M20 K05 ~ K20	
CA25	特制	$TiC + Al_2O_3$	4 ~ 8	适于在不同条件下切削加工各种铸铁、有色金属、非金属材料，以及淬火钢、不锈钢、高温合金和钛合金	P10 ~ P40 M10 ~ M30 K10 ~ K30	
YB115 (YB21)	特制	TiC	5 ~ 8	适于铸铁和其他短切屑材料的粗加工，在不太利的条件下，宜采用中等切削速度和大进给量	M15 ~ M20 K05 ~ K25	GC315
YB125 (YB02)	特制	TiC	5 ~ 8	具有很好的耐磨性和抗塑性变形的能力，宜在高速条件下进行钢、铸钢、轧钢、锻造不锈钢及铸铁的精加工、半精加工	K05 ~ K20 P10 ~ P40	GC1025
YB135 (YB11)	特制	TiC	5 ~ 8	适于钢和铸钢的粗车，钢、铸钢、可锻铸铁、球墨铸铁以及轧制与锻造奥氏体不锈钢的钻削	P25 ~ P45 M15 ~ M30	GC135
YB215 (YB01)	特制	$TiC + Al_2O_3$	4 ~ 9	具有很好的耐磨性和通用性，主要用于对各种工程材料的精加工、半精加工	P05 ~ P35 M10 ~ M25 K05 ~ K20	GC015

① 表中 P05……、M10……、K05……等代号的意义，见附录 A。

表 2-6 ZC 系列涂层硬质合金刀片的牌号及涂层

牌　号	适用范围①	涂层材料	涂层厚度/μm
ZC302N	P05 ~ P15 M10 ~ M20 K05 ~ K20	TiN/TiC/TiN	5 ~ 9
ZC312N	P10 ~ P25 M10 ~ M20 K10 ~ K20	TiC/Al_2O_3/TiN	6.5 ~ 15
ZC304N	P15 ~ P35 M15 ~ M25 K15 ~ K25	TiN/TiC/TiN	6.5 ~ 15
ZC314N	P20 ~ P35 M20 ~ M30 K20 ~ K35	TiC/Al_2O_3/TiC	6.5 ~ 15

① 见表 2-5 注。

3. 陶瓷

陶瓷是用于高速精铣和半精铣的刀具材料之一。它具有很高的硬度、耐磨性和耐热性，较低的摩擦系数，良好的抗粘结性能与化学稳定性，在 1200°C 高温下仍能正常切削，切削速度可比硬质合金提高 2 ~ 5 倍。陶瓷刀具具有良好的磨削性能，用金刚石磨轮磨削和金刚石研磨膏研磨，表面粗糙度值 *Ra* 可达 0.05μm，有利于减小工件加工表面粗糙度值。

陶瓷刀具材料在性能上存在着抗弯强度低、冲击韧性差等问题，不适于在低速、冲击负荷下切削。陶瓷刀具适于切削加工各种铸铁（灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、冷硬铸铁、高合金耐磨铸铁）和钢材（碳素结构钢、合金结构钢、高强度钢、高锰钢、淬火钢等），也可用来切削铜合金、石墨、工程塑料和复合材料。

陶瓷刀具材料按其化学成分，可分为氧化铝基陶瓷、氮化硅基陶瓷和复合氮化硅-氧化铝基陶瓷三大类。氧化铝基陶瓷中的氧化铝-碳化物陶瓷和氧化铝-碳化物-金属陶瓷使用性能良好，而氮化硅基陶瓷的性能更优越于氧化铝基陶瓷。表 2-7 列出了部分国产陶瓷刀具材料的牌号及性能，供选用时参考。

表 2-7 部分国产陶瓷刀具材料的牌号及性能

牌号	主要成分	硬度 HRA	抗弯强度/MPa	适应范围
CND10	Si_3N_4-MgO-Y_2O_3	90.5	750	各种难加工铸铁、淬火钢、钛合金、高硅铝合金的高速精加工或半精加工
CND20	Si_3N_4-MgO-Y_2O_3	91	750	
CND30	Si_3N_4-MgO-Y_2O_3	90.5	850	
CH29	Al_2O_3-TiC	93.5	600	适于各类碳钢、合金钢、淬硬钢的高速精加工和半精加工
CH30	Al_2O_3-TiC	92.5	650	适于各类碳钢、合金钢、淬硬钢的半精加工及粗加工
TN05	金属陶瓷	93	1000	适于各类碳钢、铸钢、合金钢、淬硬钢、不锈钢、高速钢的高速精加工
AT6	Al_2O_3-TiC	93.5	900	
TN10	金属陶瓷	92.5	1200	适于各种钢的精加工及半精加工，特别适合于不锈钢、高强度钢的高速切削

（续）

牌号	主要成分	硬度/HRA	抗弯强度/MPa	适应范围
TN20	金属陶瓷	92	1350	适于合金钢、不锈钢、高强度钢、轴承钢的加工和普通钢的高速半精加工
TN30	金属陶瓷	91	1500	适于铸钢、合金钢、不锈钢、高强度钢的车削
FD05	Si_3N_4	92.5	1000	适于硬度小于62HRC的铸铁的粗加工、断续切削和强力大走刀切削，但不适于高强度钢切削
FD01	Si_3N_4-TiC	93.5	800	适于小于65HRC的高合金铸铁、合金钢、高锰钢的粗加工
FD03	Si_3N_4-TiC	94	750	适于高速精加工硬度小于65HRC的铸铁和灰口铸铁等
FD04	Si_3N_4-Al_2O_3-TiC	93.5	800	适于高硬铸铁、球墨铸铁、淬硬钢及镍基高温合金的加工
FD22	Al_2O_3-Ti（NC）	94	800	适于高速精加工硬度65HRC的淬硬钢或合金铸铁等

4. 金刚石

金刚石刀具多用于在高速下对有色金属及非金属材料进行精细车削及镗孔。金刚石有天然金刚石和人造金刚石两大类。天然金刚石由于价格昂贵、性脆、磨削困难等原因，应用受到了限制；整体人造金刚石刀具的硬度高达8000 ~10000HV，耐磨性极好，可以切削硬质合金、陶瓷、高硅铝合金及耐磨塑料等高硬度、高耐磨的材料，加工铝合金及铜合金时的切削速度可达到800 ~3800m/min。

金刚石的切削刃非常锋利，刃部的表面粗糙度值很小，可达Ra0.01 ~0.006μm；摩擦系数低，切削时不易产生积屑瘤；加工有色金属工件时，表面粗糙度值 Ra 小至 0.04 ~0.012μm，加工精度可达IT5以上。

人造聚晶金刚石还可制成金刚石复合片刀具，即在强度较高的硬质合金刀片上，烧结成焊接一层约0.5 ~0.7mm的金刚石厚膜而成。它的抗弯强度与硬质合金基体大致相同，硬度稍低于整体人造聚晶金刚石刀具。此外，还有的在硬质合金刀片上涂覆一层厚为10 ~25μm的薄膜，成为金刚石涂层刀片，可以提高刀具抗粘结性能和刀具寿命。

金刚石刀具的不足之处是热稳定性较差，切削温度超过700℃时，就会完全失去其硬度；此外，它不适于切削黑色金属，因为金刚石（碳）在高温下容易与铁原子作用，使碳原子转化为石墨结构，刀具极易损坏。金刚石刀片的性能与适用范围见表2-8。

表 2-8 金刚石刀片的性能与适用范围

牌号	硬度/HV	抗弯强度 σ_{bb}/GPa	热稳定性/℃	适用加工范围
FJ	≥7000	≥1.5	<800	各种耐磨非金属，如玻璃钢粉末冶金毛坯、陶瓷材料等；各种耐磨有色金属，如各种硅铝合金；各种有色金属的光整加工
JRS-F	7200		950（开始氧化）	
JF025 JFZR	10000		>1000	

5. 立方氮化硼

立方氮化硼（简称CBN）是一种新型超硬刀具材料。具有很高的硬度（8000～9000HV）和耐磨性；热稳定性好（可耐1400～1500℃高温）；化学稳定性好，在1000℃以下不会产生氧化现象，在1200～1300℃高温下不会与铁系材料起化学反应；有良好的导热性和较低的摩擦系数，但韧性和抗弯强度较差。故立方氮化硼不宜用于低速、冲击载荷大的粗加工，也不适于切削塑性大的材料（如铝合金、铜合金、镍基合金、塑性大的钢等），因为切削这些金属时会产生严重的积屑瘤而使加工表面恶化。

立方氮化硼适于精加工各种淬火钢、硬铸铁、高温合金、硬质合金、表面喷涂材料等难切削材料。立方氮化硼的切削效率高，且加工精度高（可达IT6）、表面粗糙度值小（Ra1.25～0.20μm）。

立方氮化硼复合刀片是在硬质合金刀片上烧结一层厚度约0.5mm的立方氮化硼而成。立方氮化硼复合刀片的牌号、性能与适用范围见表2-9。

表2-9 立方氮化硼复合刀片的牌号、性能与适用范围

牌号	硬度 HV	抗弯强度/MPa	热稳定性/℃	适用范围
FD	≥5000	≥1500	≥1000	各种淬硬钢（小于65HRC）的粗、精加工，高硬铸铁、喷涂、堆焊材料和硬质合金（含钴量大于10%）的加工
LDP-J-CFⅡ	7000～8000	450～570	1000～1200	淬硬钢、耐磨铸铁、热喷涂零件、部分高温合金的精加工和半精加工
LDP-J-XF				适用于多刃（铣刀等）和异型刀具

2.1.3 铣削运动、要素与铣削方式

1. 铣削运动

铣削是利用铣刀旋转、工件相对铣刀作进给运动来进行切削的。铣刀和工件的相对运动叫作铣削运动。铣削运动分为主运动和进给运动。切下切屑所必须的基本运动为主运动；而使新的切削层不断地投入切削，逐渐切出整个加工表面的运动叫进给运动。在铣削加工中，铣刀的旋转是主运动，主运动的速度高，消耗功率大；工件的运动是进给运动，进给运动包括连续进给和断续进给。铣削运动与铣削要素见图2-10。

2. 铣削时工件上形成的三个表面

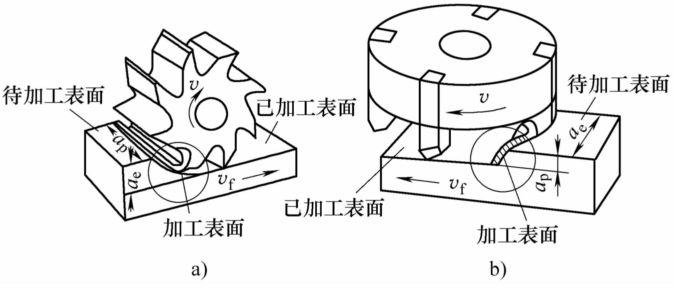


图2-10 铣削运动与铣削要素

a）周铣 b）端铣

由图2-10可见，铣削时工件上形成了以下三个表面：

（1）已加工表面 工件上经铣刀切削后形成的表面。

（2）待加工表面 工件上等待铣刀切除的表面。

（3）加工表面 工件上由铣刀切削刃形成的那部分表面，它在下一切削行程，即在铣

刀的下一转里（或由下一切削刃）切除。加工表面介于已加工表面与待加工表面之间，是正在切削着的表面。

3. 铣削要素

铣削要素包括铣削用量与铣削切削层要素，分述如下。

（1）铣削用量 铣削用量包括铣削速度、进给量、背吃刀量和侧吃刀量。

1）铣削速度 v_c（见图 2-10）。铣削速度就是铣削主运动的线速度，它等于铣刀最大直径处的线速度，单位为 m/min，可用式（2-1）计算：

$$v_c = \frac{\pi d_0 n}{1000} \tag{2-1}$$

式中 d_0——铣刀外径（mm）；

n——铣刀转速（r/min）。

2）进给量 f。进给量就是铣削时工件相对于铣刀在进给方向的移动量。由于铣刀为多刃刀具，因此在计量时，按单位时间的不同，有以下三种表达形式：

① 每齿进给量 f_z。铣刀每转过一个切削刃时，工件相对于铣刀在进给方向的移动量，单位为每齿毫米（mm/z）。铣削时的进给量一般用此量表示。

② 每转进给量 f_o。铣刀每转一转，工件相对于铣刀在进给方向的移动量，单位为每转毫米（mm/r）。显然，$f_o = f_z z$（z 为铣刀刀齿数）。

③ 每分钟进给量（又称进给速度）v_f（见图 2-10）。即每分钟时间内，工件相对于铣刀在进给方向的移动量。单位为每分钟毫米（mm/min）。

上述三者的关系为

$$v_f = f_o n = f_z z n$$

3）背吃刀量（铣削深度）a_p。背吃刀量是指平行于铣刀轴线方向测量的被切削层的尺寸，单位为毫米（mm）。

4）侧吃刀量（铣削宽度）a_e。侧吃刀量是指垂直于铣刀轴线方向测量的被切削层的尺寸，单位为毫米（mm）。

几种常用铣刀铣削时的背吃刀量（a_p）和侧吃刀量（a_e）见图 2-11。

（2）铣削切削层的要素 铣刀是多齿刀具，铣削时同时有几个刀齿参加切削。切削层是铣刀相邻两个刀齿在工件上形成的切削表面之间的一层金属。切削层剖面的形状与尺寸对铣削过程中的一些重要因素，如切削力、铣刀磨损等都有直接影响。

1）圆柱铣刀的切削层要素。圆柱铣刀的切削层要素见图 2-12，圆柱铣刀的切削厚度见图 2-13。

① 切削厚度 a_c。切削厚度 a_c 是指铣刀上相邻两个刀齿所形成的切削表面间的垂直距离。由图 2-13 可知，切削厚度为

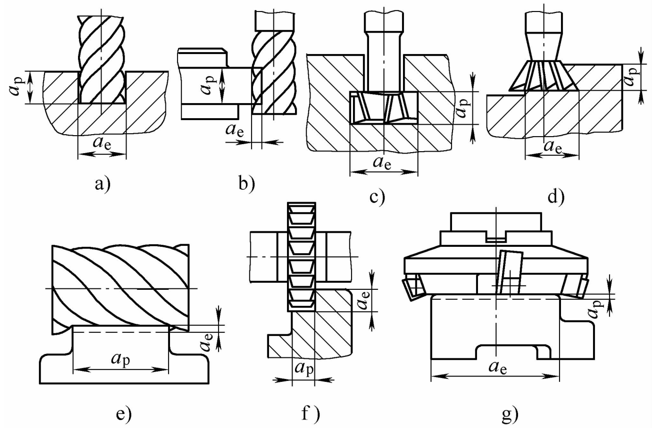


图 2-11 几种常用铣刀铣削时的背吃刀量（a_p）和侧吃刀量（a_e）

a)、b）立铣刀 c）T 形槽铣刀 d）燕尾槽铣刀

e）圆柱铣刀 f）三面刃铣刀 g）面铣刀

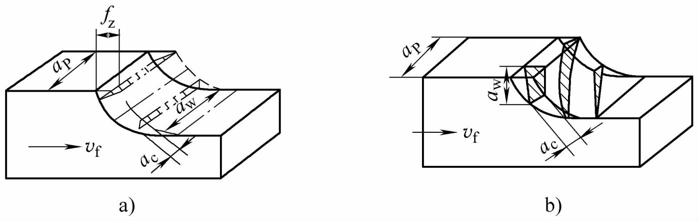


图 2-12 圆柱铣刀的切削层要素

a）直齿圆柱铣刀 b）螺旋齿圆柱铣刀

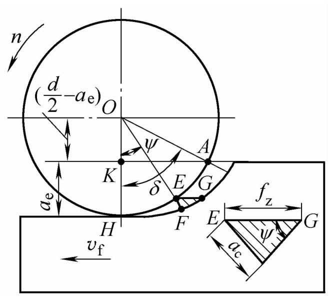


图 2-13 圆柱铣刀的切削厚度

$$a_c = f_z \sin\psi \qquad (2\text{-}2)$$

式中 ψ——瞬时接触角，是工作刀齿所在位置与起始切入位置间的夹角。

由式（2-2）可知，切削厚度 a_c 随着刀齿所在位置的不同而变化。当刀齿在 H 点位置时，切削厚度 $a_c=0$，为最小值；而刀齿到达即将离开工件的 A 点时，$\psi=\delta$，这时切削厚度达到最大值，即

$$a_{cmax} = f_z \sin\delta$$

通常，以 $\psi=\delta/2$ 处的切削厚度为平均切削厚度，圆柱铣刀铣削的平均切削厚度为

$$a_{c平均} = f_z \sin\frac{\delta}{2} \qquad (2\text{-}3)$$

由△OAK 可知：

$$\cos\delta = 1 - \frac{2a_c}{d}$$

而 $\sin\dfrac{\delta}{2} = \sqrt{\dfrac{1-\cos\delta}{2}} = \sqrt{\dfrac{a_c}{d}}$

代入式（2-3）后，则得：

$$a_{c平均} = f_z\sqrt{\frac{a_c}{d}}$$

式中 d——圆柱铣刀直径（mm）。

② 切削宽度 a_w。切削宽度是指主切削刃参加工作的长度。由图 2-12a 可见，直齿圆柱铣刀的切削宽度等于背吃刀量 a_p，并且是常数。而螺旋齿圆柱铣刀的切削宽度是变化的，由图 2-12b。可见，随着刀齿从切入到切出工件，切削宽度先逐渐增大，然后又逐渐减小，因此铣削过程较为平稳。

2）面铣刀的切削层要素。

① 切削厚度 a_c。

由图 2-14 可知，在刀齿刚切入工件时，切削厚度 a_c 最小，以后逐渐增大；到中间位置时，切削厚度最大，然后又逐渐减小。任意位置时的切削厚度 a_c 为

$$a_c = EF\sin\kappa_r = f_z\cos\psi\sin\kappa_r$$

式中 κ_r——面铣刀的主偏角（°）。

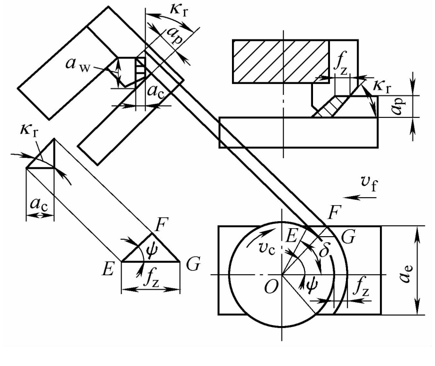


图 2-14 面铣刀的切削厚度与切削宽度

② 切削宽度 a_w。

面铣刀在铣削过程中的切削宽度保持不变，其计算公式为

$$a_w = \frac{a_p}{\sin\kappa_r}$$

3）平均切削总面积 $S_{平均}$。各种铣刀铣削时的平均切削总面积的计算公式是相同的，即

$$S_{平均} = \frac{f_z a_p a_e z}{\pi d}$$

4. 铣削方式

（1）周铣与端铣　用铣刀圆周上齿刃进行铣削称为周铣（见图 2-10a），用铣刀端面的齿刃进行铣削称为端铣（见图 2-10b）。端铣与周铣相比，有以下优点：

1）端铣时用的面（端）铣刀装夹刚性较好，铣削时受力变形小，振动也较小；而周铣用的圆柱铣刀刀杆较长、直径较小、刚性较差，容易产生弯曲变形和引起振动。

2）端铣时，同时参加切削的刀齿数比周铣时多，切削较平稳。这是因为面铣刀刀齿在铣削层宽度的范围内工作，而周铣时的刀齿是在铣削层深度的范围内工作。一般情况下，铣削层宽度比铣削层深度大得多，所以端铣时铣刀和工件的接触面较大，同时切削的齿数较多，铣削力的波动也较小。此外，同时参加切削的刀齿数多，在同等的切削负荷下，每个刀齿的负荷小，有利于减少刀具磨损，提高刀具寿命。

3）端铣时，铣刀刀齿的主、副切削刃同时工作，由主切削刃切去大部分余量，副切削刃可起到修光作用，使加工表面粗糙度值较小；同时，刀齿负荷的合理分配也有利于提高刀具寿命。而周铣时，只有圆周上的主切削刃在切削，不但无法消除加工表面的残留面积，而且铣刀装夹后的径向圆跳动也会反映到工件的加工表面上。

4）端铣用的面铣刀便于镶装硬质合金刀片进行高速铣削和阶梯铣削，生产效率高，铣削表面质量也较好；而周铣用的圆柱铣刀镶装硬质合金刀片则比较困难。

5）铣削宽度大的工件时，可用较大直径的面铣刀，一次铣出工件的全宽而无接刀痕迹；而周铣用的圆柱铣刀因受刀具长度的限制，铣削宽度大的工件时，往往都要接刀铣削，故会残留有接刀痕迹，影响工件表面质量。

综上所述，一般情况下，端铣的生产效率和加工质量都比周铣的高，故在平面铣削时，应尽可能采用端铣。但是工厂中用作周铣的卧式铣床使用很普遍，这是因为卧式铣床的万能性好，并可采用组合铣削的方法来提高铣削效率（见图 2-1f）。

（2）周铣时的顺铣与逆铣

1）逆铣。在铣刀切入工件处的切削速度 v_c 的方向与工件进给速度 v_f 的方向相反，这种铣削方式称为逆铣（见图 2-15a）。逆铣时，作用于工件上的垂直切削分力 F_V 向上，而水平分力 F_H 与工件进给速度 v_f 的方向相反。

2）顺铣。在铣刀切入工件处的切削速度 v_c 的方向与工件进给速度 v_f 的方向相同，这种铣削方式称为顺铣（见图 2-15b）。顺铣时，作用于工件上的垂直分力 F_V 向下，而水平分力 F_H 与工件进给速度 v_f 的方向相同。

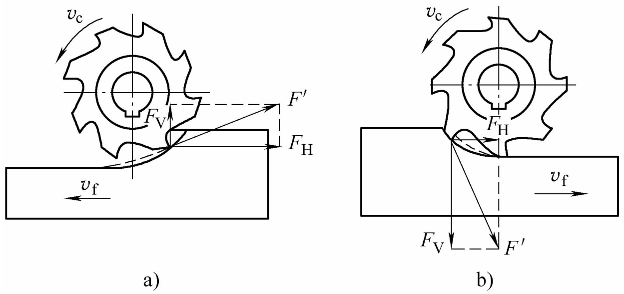


图 2-15　逆铣与顺铣

a）逆铣　b）顺铣

3）逆铣与顺铣的选择。逆铣时，刀齿切下切屑是由薄到厚，开始时刀齿不能切入工件，而是一面挤压工件表面并在上面打滑，使这段表面产生严重的冷硬层。滑行到一定程序后，刀齿才能切下金属层，而下一个刀齿切入时，又在冷硬层上挤压、滑行，不但使刀齿磨损加剧，并能使加工表面产生冷硬现象和增加表面粗糙度值。而顺铣时，刀齿切下切屑是由厚到薄，避免了刀齿的挤压、滑行现象，大大减轻了加工表面的硬化程度，有利于提高加工

表面质量和减小刀齿的磨损，一般可提高刀具寿命2~3倍，尤其在铣削难加工材料时尤为明显。

逆铣时，由于作用在工件上的垂直切削分力 F_V 向上，有抬起工件的趋势，这不但会影响工件夹紧的稳定性，还易于引起振动；而顺铣时，垂直切削分力 F_V 始终压向工作台，有利于增加工件夹紧的可靠性。

由于铣床工作台的纵向进给运动一般是由丝杠、螺母来实现的（见图2-16），螺母固定，由丝杠转动带动工作台移动。逆铣时，水平切削分力 F_H 与进给运动 v_f 的方向相反，使丝杠工作面压紧在螺母提供进给力的工作侧面上（见图2-16a），使丝杠、螺母的工作表面始终保持良好的接触，工作台移动时不会发生窜动现象，铣削过程比较平稳；顺铣时，作用在工作台上的水平切削分力 F_H 与进给运动 v_f 的方向是相同的，有使丝杠、螺母两者的工作面脱离的趋势（见图2-16b），如丝杠、螺母传动副中存在间隙，当水平切削分力 F_H 大于工作台与导轨之间的摩擦力时，会使工作台带动丝杠发生窜动，造成工作台产生振动和进给不均匀，严重时还会发生“打刀”现象。

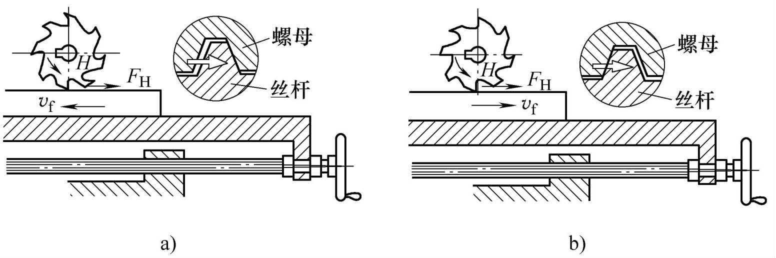


图2-16　水平切削分力对丝杠、螺母的影响

a）逆铣　b）顺铣

由上可见，一般情况下，逆铣比顺铣用得多，只有在铣床上装有消除丝杠、螺母间隙的装置，才能采用顺铣加工。由于顺铣可提高刀具寿命、降低加工表面粗糙度值和减少机床进给运动的动力消耗，在工件表面不带硬皮的条件下，如精铣、切断薄壁件以及塑料、尼龙、难切削材料的铣削时，应采用顺铣法加工。

（3）端铣时的对称铣削和不对称铣削

1）对称铣削（见图2-17a）。用端铣法铣平面时，铣刀轴线位于铣削弧长的对称中心位置，铣刀每个刀齿切入和切离工件时的切削厚度相等，称为对称铣削。对称铣削时，其切入边为逆铣，切出边为顺铣，切入和切出处的铣削厚度最小又不为零，因此适于铣削具有冷硬层的淬硬钢。

2）不对称铣削（见图2-17b、c）。用端铣法铣平面时，铣刀轴线不在铣削弧长的对称中心位置上，铣刀刀齿切入和切离工件时切削厚度不相等，称为不对称铣削。不对称铣削包括不对称逆铣和不对称顺铣。铣刀以最小铣削厚度（不为零）切入工件，以最大铣削厚度切出工件（见图2-17b），称为不对称逆铣。由于不对称逆铣切入厚度较小，减少了冲击力，有利于提高铣刀的寿命，故适于铣削碳钢和一般合金钢。铣刀以较大的铣削厚度切入工件，又以较小的厚度切出工件（见图2-17c），称为不对称顺铣。这种铣削方式虽然铣削时有一定的冲击，但可以避免切削刃切入冷硬层，故适于铣削不锈钢、耐热合金及冷硬性材料等。

5. 铣削特点

铣削加工主要具有以下特点：

（1）加工生产率高　铣刀是多刃刀具，铣削时为多刀齿参与切削，在每个刀齿的切削负荷相同时，总的金属切除效率就明显地高于单刃刀具切削的效率。此外，还可以采用高速铣削、阶梯铣削和组合铣削等方法提高铣削生产率。

（2）易产生冲击和振动。铣削是一种断续切削方式，刀齿切入和切出工件时，由于同时工作刀齿数目的增减，会产生冲击和振动；此外，铣削厚度的周期性变化也会因切削力的

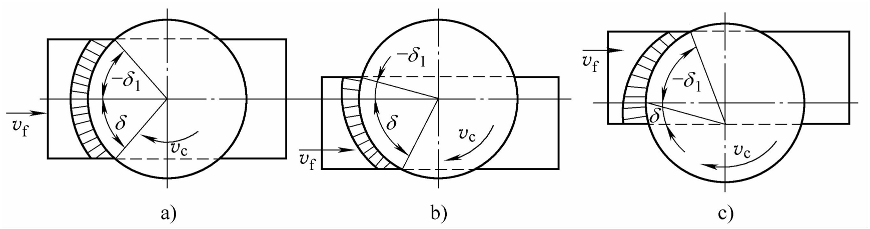


图 2-17 端铣时的顺铣与逆铣

a）对称端铣 b）不对称逆铣 c）不对称顺铣

波动而引起振动。当振动频率与机床固有频率一致时，将会发生共振，造成刀齿崩刃或损坏机床的零部件。冲击和振动还会降低工件的加工精度和表面质量。

（3）刀齿周期性地参与切削 铣刀刀齿是轮流参与切削的，每个刀齿参与切削的时间短，有利于刀齿的散热和冷却，但周期性的热冲击作用也会引起切削刃的热疲劳而降低刀具寿命，甚至在切削刃上产生裂纹，这在进行高速铣削时尤其应引起注意。

2.1.4 铣削过程的基本规律及物理现象

1. 铣削过程与切屑种类

（1）铣削过程 铣削过程是指铣削时通过铣刀和工件的相对运动，刀具从工件的表面上切下多余的金属层，形成切屑和已加工表面的过程。在这个过程中，被切除的金属会产生变形而形成切屑；刀具要使切削层产生变形必然会让工件受力而产生切削力；同时，伴随切削力、切削变形会有切削热的产生，从而引起切削区温度升高、积屑瘤的产生和刀具磨损等诸多物理现象，而这些现象与工件材料性质、铣刀几何角度和切削用量的选择都有着十分密切的关系。因此，了解铣削过程及物理现象的发生与变化规律，对合理选择铣刀的几何角度、铣削用量，提高生产率和工件的加工质量，降低成本等都有十分重要的意义。

切削时，工件材料在刀具前刀面的推挤下，使被切削的金属层产生变形、剪切滑移而形成切屑。在切屑形成过程中，被切金属的变形主要发生在以下三个变形区域（见图 2-18）。图 2-18 中的Ⅰ称为第一变形区，切削层金属从 *OA* 线开始产生剪切滑移变形，到 *OM* 线基本完成了剪切滑移。经过第一变形区变形后形成的切屑沿前刀面排出，进一步受到前刀面的挤压和摩擦。如图 2-18 中的Ⅱ所示，这一与前刀面接触的切屑底层内产生的变形区为第二变形区，刀具前刀面的磨损、积屑瘤等现象主要取决于第二变形区的变形。图 2-18 中的Ⅲ为第三变形区，是在已加工表面处发生的变形，主要是由于已加工表面受到切削刃和后刀面的挤压和摩擦造成的。第三变形区的变形、摩擦会引起刀具后刀面的磨损和已加工表面的表层硬化。

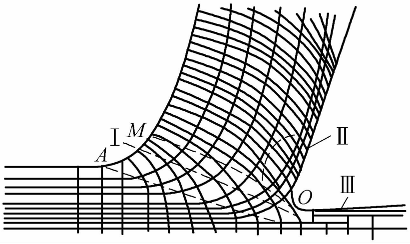


图 2-18 切削的三个变形区

（2）切屑种类 由于工件材料的性质不同、切削条件（刀具几何角度、切削用量等）不同，切削过程中金属的滑移变形程度也就不同。因此，切屑主要有以下四种类型（见图 2-19）：

1）带状切屑（见图 2-19a）。带状切屑的内表面光滑，外表面呈毛茸状。通常在加工塑性金属材料时，如果切削厚度较小、切削速度较高，刀具前角较大，就会形成这种切屑。出现带状切屑的切削过程较平稳，切削力波动小，已加工表面的表面粗糙度值较小。

2）节状切屑（挤裂切屑）（见图 2-19b）。节状切屑的内表面有时有裂纹，外表面呈锯齿形。这种切屑大多在切削速度较低、切削厚度较大、刀具前角较小时形成。加工塑性

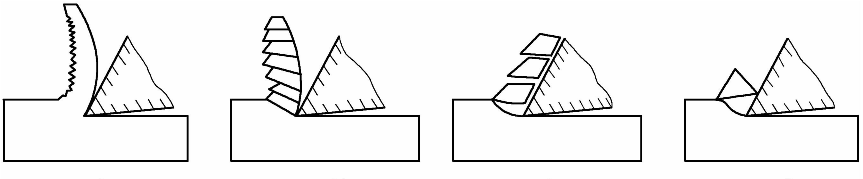


图2-19 切屑的种类

a）带状切屑 b）节状切屑 c）粒状切屑 d）崩碎切屑

金属材料时，形成节状切屑的切削过程不平稳，切削力波动大，加工表面的表面粗糙度值较大。

3）粒状切屑（单元切屑）（见图2-19c）。粒状切屑呈单元状，通常是在切削速度很低的条件下加工塑性材料时形成的。出现粒状切屑时的切削力波动大，已加工表面的表面粗糙度值大。

4）崩碎切屑（见图2-19d） 切削脆性金属材料（如铸铁）时，由于材料的塑性很小，抗拉强度较低，刀具切入后，金属未经塑性变形就被前刀面挤裂、碎断，形成不规则的崩碎切屑。工件材料越硬脆、刀具前角越小、切削厚度越大，越容易产生这种切屑。形成崩碎切屑的切削过程的切削力较小，但波动大，加工表面凹凸不平。

切屑形态有些是可以随切削条件的改变而转化的。在切削塑性金属时，随着切削速度的提高、进给量的减小和前角的加大，切屑可以由粒状或节状转化为带状切屑。

2. 积屑瘤

在切削钢或其他塑性金属时，有时在刀具前刀面上靠近切削刃处牢固地粘着一小块金属，这就是积屑瘤（见图2-20）。这是由于切削过程中金属的变形和摩擦，使切屑和前刀面之间产生很大的压力和较高的温度，当摩擦力大于切屑内部的结合力时，切屑底层的部分金属就“冷焊”在前刀面上的切削刃附近，形成了积屑瘤。

积屑瘤对加工的影响如下（见图2-20）：

1）积屑瘤的硬度为工件材料硬度的2～3倍，当它覆盖在切削刃上时，可以代替切削刃进行切削，保护了切削刃，减少了刀具的磨损。

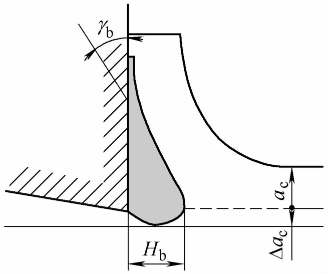


图2-20 积屑瘤对加工的影响

γ_b—积屑瘤前角 H_b—积屑瘤高度

2）积屑瘤使刀具的实际前角增大（$\gamma_b > \gamma_o$），从而减少了切削变形，降低了切削力。

3）由于积屑瘤的前端伸出切削刃之外，使切削厚度增大Δa_c，而积屑瘤的产生、长大与脱落有一定的周期性，故Δa_c值是变化的，即积屑瘤时大时小，因而会引起振动。切削过程中，破碎的积屑瘤一部分被切屑带走，一部分会嵌入工件已加工表面，使工件表面形成硬点和毛刺，增大了表面粗糙度值，并使刀具磨损加剧。

由上可见，积屑瘤的存在有有利的一面，粗加工时一般可不对积屑瘤进行控制；而积屑瘤会影响工件的表面质量，因此精加工时应避免积屑瘤的产生。通常，可采取以下措施：

1）当工件材料的硬度低、塑性过高时，刀具和切屑接触的长度增加、摩擦系数加大、切削温度升高，更容易产生粘接而生成积屑瘤。通常，可进行适当的热处理，以提高材料硬度、降低塑性，以抑制积屑瘤的产生。

2）控制切削速度，即避开产生积屑瘤的中等切削速度（15～30m/min）（见图2-21），而尽量采用低速或很高的切削速度。因为低速切削中碳钢时，切削温度低，材料不易粘接；而高速切削时，切削温度高、材料软化，也不

易粘接。这是防止积屑瘤产生和减小工件表面粗糙度值的有效方法。

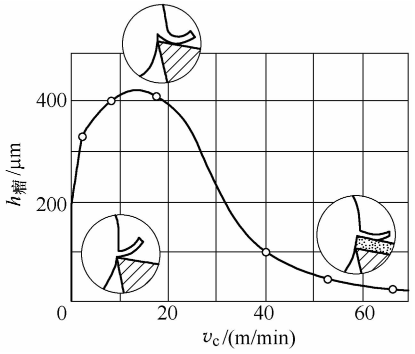


图 2-21　切削速度对积屑瘤的影响

3）增大刀具前角 γ_o，前角增大可减小切削变形，同时刀具与切屑之间的接触长度减小、摩擦减小、切削温度低，使积屑瘤不易产生。

4）减小切削厚度，采用小的进给量及小的主偏角 κ_r，使刀具与切屑的接触长度减小、摩擦减小、切削温度降低，也可抑制积屑瘤的产生。

5）研磨刀具的前刀面，使用高效的切削液，可以减少摩擦，也是防止积屑瘤产生的方法之一。

3. 铣削力和铣削功率

（1）铣削力的来源与分解　铣削力的来源主要有两个方面：一是切屑形成切程中，材料弹性变形、塑性变形产生的抗力；另一个是刀具与切屑及工件表面之间的摩擦力。它们形成了作用在铣刀上的合力 F 和作用在工件上的合力 F'（见图 2-22）。F 和 F'大小相等，方向相反。由于切削时合力 F 和 F'的大小、方向都不易确定，因此，为了测量、计算和反映其实际作用，常将 F 分解为三个相互垂直的分力 F_c、F_{cN}和 F_p，将 F'分解为 F_f、F_e 和 F_{fN}。

铣刀为多齿刀具，铣削时每个刀齿的切削位置、切削面积时时变化。因此，每个刀齿承受的铣削力大小和方向也不断地变化。但在材料的强度高、切削面积大、前角 γ_o 较小和刃口不锋利等情况下，铣削力就增大。此外，如果切削面积不变而切屑薄的时候，则铣削力较大。

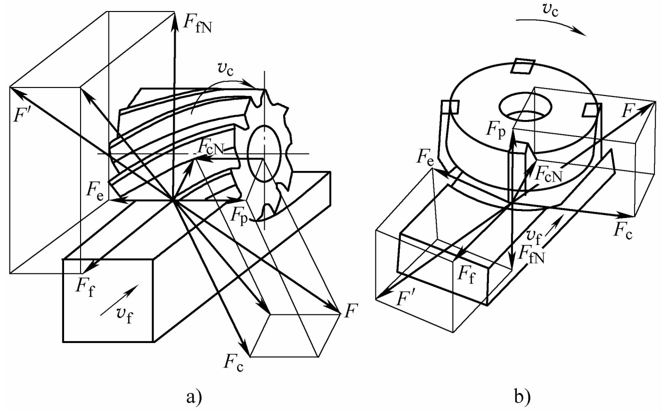


图 2-22　铣削力

a）圆柱铣刀铣削力　b）面铣刀铣削力

（2）铣削力 F 对铣刀的作用　作用在铣刀上的铣削力 F 可分解为三个相互垂直的分力，即主铣削力 F_c、垂直铣削力 F_{cN}和背向力 F_p。其对铣刀的作用分述如下：

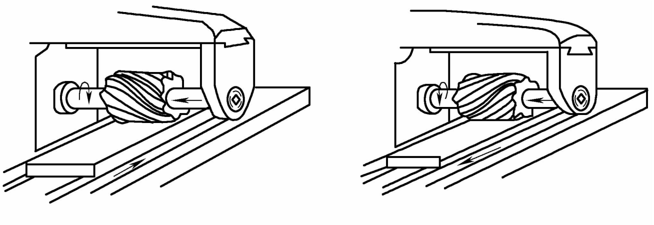
1）主铣削力 F_c。主铣削力 F_c 是总铣削力 F 在铣刀主运动方向的分力，又称切向铣削力。它消耗的功率最大，是计算机床功率和其他方向铣削力的依据。F_c 作用在铣刀及刀杆上，除产生转矩外，还使刀杆产生弯曲变形。

2）垂直铣削力 F_{cN}。F_{cN}是工作平面内的总铣削力 F 在垂直于主运动方向上的分力，它与主铣削力 F_c 合力的作用会造成铣刀刀杆弯曲、铣刀的径向偏差和径向跳动。为了减少铣刀的让刀和振动，必须提高铣刀安装时的刚

性，装刀时要使刀杆锥体与铣刀主轴配合紧密，铣床主轴轴承的间隙合适，尽可能使用较粗、较短的刀杆并缩短其跨距。

3）背向力 F_p。F_p 是总铣削力 F 在垂直于工作平面上的分力。圆周铣削时，背向力 F_p 的大小随圆柱铣刀螺旋角 ω 的增大而增大；端铣时，F_p 则随面铣刀主偏角 κ_r 的减小而增大，并随着刃倾角 λ_s 绝对值的增大而加大。用螺旋圆柱铣刀铣削时，背向力的作用方向则与铣刀的旋转方向及刀齿的旋向有关，见图 2-23。即装刀时应使背向力 F_p 指向主轴，以增加刀杆锥体与铣床主轴配合的紧密程度，减少振动。右旋铣刀顺时针方向旋转、左旋铣刀逆时针方向旋转时，F_p 指向主轴，反之则相反；用面铣刀铣削时，F_p 的方向一般是指向主轴。

（3）铣削力 F' 对工件的作用　铣削力 F' 沿机床工作台的运动方向，可分解为三个相互垂直的分力，分别为 F_e、F_f 和 F_{fN}。



a)　　　　b)

图 2-23　螺旋齿圆柱铣刀的背向力

a）右旋圆柱铣刀应按顺时针方向旋转　b）左旋圆柱铣刀应按逆时针方向旋转

1）纵向进给力 F_f。F_f 是作用在纵向工作台运动方向上的分力，通过工件传给工作台和纵向进给系统。由于铣床通常作纵向进给，故 F_f 是消耗进给电动机功率最多的力。F_f 的大小、方向与铣削方式有关。

2）横向进给力 F_e。F_e 是作用在横向工作台运动方向的分力，通过工件传给工作台和横向进给系统。它与圆柱铣刀所受的背向力 F_p 大小相等，方向相反。

3）垂直进给力 F_{fN}。F_{fN} 是作用在铣床升降台运动方向的分力，通过工件传给工作台和垂直进给系统。在立式铣床上作端面铣削时，F_{fN} 的大小等于 F_p，但方向相反；而在卧式铣床上铣削时，F_{fN} 的大小和方向与铣削方式有关。

（4）铣削力与铣削功率的计算　铣削时，各铣削分力与主铣削 F_c 有一定的比例关系（见表 2-10）。因此，只要求出 F_c，便可以计算出铣削分力 F_f、F_e 和 F_{fN}。由图 2-22 可见，$F = F'$。则：

$$F(F') = \sqrt{F_c^2 + F_{cN}^2 + F_p^2} = \sqrt{F_f^2 + F_e^2 + F_{fN}^2}$$

表 2-10　各铣削力之间的比值

铣削条件	比值	对称铣削	不对称铣削	
			逆铣	顺铣
端面铣削	F_f/F_c	0.3 ~ 0.4	0.6 ~ 0.9	0.15 ~ 0.30
a_e = (0.4 ~ 0.8) d_0	F_e/F_c	0.85 ~ 0.95	0.45 ~ 0.7	0.9 ~ 1.00
f_z = (0.1 ~ 0.2) /z	F_{fN}/F_c	0.5 ~ 0.55	0.5 ~ 0.55	0.5 ~ 0.55
圆柱铣削	F_f/F_c	—	1.0 ~ 1.20	0.8 ~ 0.90
$a_e = 0.05d_0$	F_{fN}/F_c		0.2 ~ 0.3	0.75 ~ 0.80
f_z = (0.1 ~ 0.2) /z	F_e/F_c		0.35 ~ 0.40	0.35 ~ 0.40

1）铣削力的计算。硬质合金铣刀铣削普通钢和铸铁时的主切削力 F_c，可按表 2-11 中所列的经验公式计算（该表的试验条件：γ_o = 5°，κ_r = 75°，λ_s = 5°，α_o = 6°，β = 30°）。当加工条件不同时，F_c 需乘以表中材料修正系数 K_{F_c}；高速钢铣刀的主铣削力 F_c 可按表 2-12

中所列的经验公式计算。

表 2-11 硬质合金铣刀铣削力的计算公式 （单位：N）

铣刀名称	工件材料	铣削力计算公式		
面铣刀	碳钢	$F_c = 11278 a_e^{1.06} f_z^{0.88} d_0^{-1.3} a_p^{0.90} n^{-0.18} z$		
	灰铸铁	$F_c = 539 a_e^{1.0} f_z^{0.74} d_0^{-1.0} a_p^{0.90} z$		
	可锻铸铁	$F_c = 4825 a_e^{1.1} f_z^{0.75} d_0^{-1.3} a_p^{1.0} n^{-0.20} z$		
圆柱铣刀	碳钢	$F_c = 1000 a_e^{0.88} f_z^{0.75} d_0^{-0.87} a_p^{1.00} z$		
	灰铸铁	$F_c = 596 a_e^{0.9} f_z^{0.80} d_0^{-0.9} a_p^{1.00} z$		
三面刃铣刀	碳钢	$F_c = 2560 a_e^{0.9} f_z^{0.8} d_0^{-1.1} a_p^{1.1} n^{-0.1} z$		
两面刃铣刀		$F_c = 2746 a_e^{0.8} f_z^{0.7} d_0^{-1.1} a_p^{0.85} z$		
立铣刀		$F_c = 118 a_e^{0.85} f_z^{0.75} d_0^{-0.73} a_p^{1.0} n^{0.13} z$		
加工材料	钢	铸铁	青铜	铝合金
修正系数 K_{F_c}	$\left(\frac{R_m}{0.735}\right)^{0.3}$	$\left(\frac{HBS}{190}\right)^{0.55}$	$\left(\frac{HBS}{140}\right)^{0.55}$	$\left(\frac{HBS}{95}\right)^{0.5}$

表 2-12 高速钢铣刀铣削力计算公式 （单位：N）

加工材料	铣刀名称	铣削力计算公式			
碳钢、青铜、铝合金、可锻铸铁	面铣刀	$F_c = C_F a_e^{1.1} f_z^{0.8} d_0^{-1.1} a_p^{0.95} z$			
	立铣刀、圆柱铣刀	$F_c = C_F a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} a_p z$			
	三面刃铣刀、锯片铣刀	$F_c = C_F a_e^{0.86} f_z^{0.72} d_0^{-0.86} a_p z$			
灰铸铁	面铣刀	$F_c = C_F a_e^{1.1} f_z^{0.72} d_0^{-1.1} a_p^{0.9} z$			
	立铣刀、圆柱铣刀	$F_c = C_F a_e^{0.83} f_z^{0.65} d_0^{-0.83} a_p z$			
	三面刃铣刀、锯片铣刀	$F_c = C_F a_e^{0.83} f_z^{0.65} d_0^{-0.83} a_p z$			
铣刀名称	铣削力参数 C_F				
	碳钢	可锻铸铁	青铜	灰铸铁	铝合金
面铣刀	808	510	368	510	217
立铣刀、圆柱铣刀	669	294	222	294	196
三面刃铣刀、锯片铣刀	670	294	221	294	196

目前，常用的铣削力 F_c 的计算公式是用单位铣削力乘以平均铣削面积，即

$$F_c = pA_c$$

式中 p——单位铣削力（MPa）；

A_c——铣刀参加切削刀齿的切削面积之和（mm^2）。

表 2-13 所示为钢和铸铁的单位铣削力 p 值。由于 A_c 与铣削深度 a_p、铣削宽度 a_e、每齿进给量 f_z、铣刀刀齿数 z 和铣刀直径 d_o 等参数相关，故生产中常用以下近似公式计算 F_c：

$$F_c = pA_c = p\frac{a_p a_e f_z z}{\pi d_o}$$

表 2-13 钢和铸铁的单位铣削力 p 值[1] （单位：MPa）

铣削时每齿进给量 a_f/(mm/z)	钢（抗拉强度 R_m）			铸铁硬度 HB		
	≤588MPa	<735MPa	≥735MPa	<180	180～200	>200
0.02	4000～4400	5100～6300	6400～7060	2643	3432	4119
0.03	3850～4250	4900～6000	6200～6570	2550	3334	4021

（续）

铣削时每齿进给量 a_f/(mm/z)	钢(抗拉强度 R_m)			铸铁硬度　HB		
	≤588MPa	<735MPa	≥735MPa	<180	180~200	>200
0.04	3700~4100	4700~5700	5900~6080	2452	3236	3923
0.05	3500~3950	4500~5400	5600~5786	2354	3138	3825
0.06	3350~3800	4300~5100	5200~5490	2256	2942	3727
0.07	3200~3650	4100~4800	5050~5296	2157	2844	3628
0.08	3050~3500	3900~4650	4750~5196	2059	2746	3530
0.09	2950~3350	3700~4450	4600~5000	1961	2648	3481
0.10	2840~3300	3550~4220	4410~4903	1912	2550	3432
0.13	2746~3200	3400~4069	4230~4800	1870	2475	3330
0.15	2620~3100	3240~3920	4100~4700	1814	2402	3236
0.18	2500~3000	3080~3780	4000~4600	1790	2380	3180
0.20	2420~2900	2800~3630	3900~4511	1765	2353	3138
0.24	2350~2750	2700~3500	3800~4315	1700	2280	3050
0.28	2280~2650	2600~3400	3650~4188	1630	2210	2950
0.32	2240~2580	2500~3300	3500~3922	1569	2157	2844
0.35	2200~2500	2400~3200	3300~3726	1471	2059	2746

①　表中的数值中，小值适用于面铣刀，中值适用于圆柱铣刀等，大值适用于立铣刀、片铣刀等。

2）铣削功率的计算。主铣削力 F_c 与其作用方向上的运动速度 v_c 的乘积即为铣削功率 P_m，公式为

$$P_m = \frac{F_c v_c}{60 \times 10^3}$$

式中　P_m——铣削功率（kW）；

v_c——铣削速度（m/min）；

F_c——主铣削力（N）。

4. 切削热与切削温度

切削热和由其产生的切削温度是刀具磨损和影响加工精度的重要原因。高的切削温度会使刀具磨损加剧、工件和刀具受热膨胀，从而导致工件精度达不到要求。因此，切削加工时必须控制和降低切削热与切削温度。

（1）切削热的产生和导出　切削热来源于切削层金属发生弹性变形和塑性变形产生的热量，以及切屑与前刀面、工件与后刀面之间摩擦产生的热量。切削过程中，上述变形和摩擦消耗的功绝大部分转化为热能。切削热通过切屑、工件、刀具和周围介质传出。

切削热传至各部分的比例：如不使用切削液，以中等速度切削钢件时，切屑带走的热量最多，约为50%~86%；传入工件为10%~40%；传入刀具为3%~9%；1%左右传入周围空气。

影响切削热导出的主要因素如下：

1）工件材料及其导热性能。切削塑性材料（钢）时，切削热大部分传给切屑，小部分传入工件；切削脆性材料（铸铁等）时，由于形成崩碎切屑，切屑与工件、刀具分离快，故传入切屑热量的比例较小，而传入刀具、工件的比例较大。工件材料的导热系数较高，由切屑和工件导出的热量较多，切削区温度较低，则刀具磨损减小，但工件的温升较快，易引起工件热变形；反之，则切削区的温度高，使刀具的磨损加剧。

2）刀具材料的导热性能。刀具材料的导热系数高，切削热容易从刀具导出，有利于降低切削区温度，使刀具的磨损减小。

3）周围介质。采用冷却性能良好的切削液及高效能的冷却方式，能有效地导出较多的切削热，降低切削区温度，减少刀具磨损和工件热变形。

（2）切削温度及其影响的因素　切削温度通常是指切削区的平均温度，其高低是由产生热和传散热两个方面综合影响的结果。影响切削温度的主要因素如下：

1）工件材料的影响。工件材料的硬度、强度越高，切削时所消耗的功越多，产生的切削热也越多，切削温度就越高。切削灰铸铁等

脆性材料时，金属塑性变形小，切屑呈崩碎状，与刀具前刀面摩擦小，产生的切削热少，故切削温度一般较切削钢件时低。工件材料导热系数的大小直接影响切削热的导出。例如不锈钢1Cr18Ni9Ti和高温合金GH131不仅导热系数小，而且在高温下仍有较高的强度和硬度，故切削温度高；而铝合金等有色金属的导热系数大，故切削温度低，一般可采用高速切削。

2）切削用量的影响。切削用量 v_c、f、a_p 增大，单位时间内金属的切除量增加，切削热增加，切削温度也随之升高。其中，切削速度 v_c 对切削温度的影响最大，当切削速度增高一倍时，切削温度大约升高20%～30%。这是由于切削速度提高后，使切屑流动的速度加快，切削热来不及传入刀具与工件而大部分被切屑带走。此外，切削速度的提高也使切削层的变形减小，故切削温度并不是成倍地升高。而进给量 f 增加一倍时，切削温度一般只升高10%左右。这是由于随着进给量 f 的增大，切屑带走的热量也增大；刀具与切屑的接触长度增大了散热面积等。当背吃刀量 a_p 增加时，切削热也会增加，但由于切削刃参加切削的长度增加，改善了散热条件，故背吃刀量 a_p 增加一倍时，切削温度只升高3%左右。

3）刀具几何角度的影响。增大刀具前角 γ_o，会使切削过程中的变形和摩擦减小，因而对切削温度的高低影响显著。通常，切削温度随着前角 γ_o 的增大而降低，但前角大于18°后，则对切削温度的影响减小。这是由于前角增大后，切削刃变薄（楔角 β_o 减小），使散热体积减小所致。过大的前角反而会使切削温度有所升高。如增大铣刀的主偏角 κ_r，在相同的背吃刀量 a_p 的情况下，会使主切削刃参加切削的长度缩短，切削热相对集中；并由于刀尖角 ε_r 减小，使散热体积减小，因而使切削温度升高。

4）刀具磨损的影响。刀具磨损后，切削刃变钝，使切削时的切削层变形增加；同时，刀具后刀面与工件的摩擦加剧，故刀具磨损后的切削温度会上升。刀具后刀面上的磨损量越大，切削温度的上升越迅速。

5）切削液的影响。切削液有冷却和润滑作用，能减少切屑、工件与刀具之间的摩擦，减少切削热的产生，同时能带走大量的切削热，以降低切削温度。

5. 刀具磨损

切削加工时，刀具一方面切下切屑，但刀具本身也会产生磨损。刀具磨损后，就会使切削力加大、切削温度上升、切屑颜色改变、加工表面粗糙度值增大、加工精度下降，甚至使工艺系统产生振动和异常声响。因此，刀具磨损到一定程度后，必须进行重磨或更换新刀。

（1）刀具磨损的形式

1）后刀面磨损。由于刀具切削刃不是绝对锋利的，而是有一定的钝圆半径，因此，在切削脆性材料或以较小的切削厚度切削塑性材料时，刀具后刀面与工件表面摩擦作用强烈，故磨损主要发生在后刀面。铣削加工时，每个刀齿的切削厚度都比较小，特别是用周铣法进行逆铣时，刀齿要经过一段滑擦才能切下切屑，故磨损为后刀面磨损（见图2-24a）。

2）前刀面磨损。在不使用切削液的条件下切削塑性金属时，如果切削厚度大、切削速度较高时，则刀具前刀面与切屑底部压强很大、接触面积大、润滑条件差，从而产生强烈摩擦，会在刀具前刀面上形成月牙洼磨损。

3）前、后刀面同时磨损。以中等切削厚度和切削速度切削塑性金属时，将发生前、后刀面同时磨损。如用硬质合金面铣刀加工强度较高的合金钢，每齿进给量较大时，前刀面上会出现月牙洼磨损（见图2-24b）。

（2）刀具磨损的原因　切削过程中，刀具的磨损与一般机械零件的磨损有显著的不同，主要是刀具与切屑、工件间的接触表面经常是新鲜表面，摩擦系数大；刀具的前、后刀面上的接触压力很大；接触面的温度也很高，如硬质合金刀具切削钢料时可达800～1000℃。因此，刀具磨损是机械、热和化学等三种作用综合的结果。

1）磨粒磨损。切削过程中，切屑底层、工件表面上存在的一些碳化物、氮化物和氧化物等微小硬质点以及积屑瘤碎片等，都可在刀具表面上刻划出沟痕而造成磨损。这种磨损称为磨粒磨损，是一种机械擦伤所造成的磨损。使用各种刀具材料在各种切削速度的条件下，都可能发生磨粒磨损。用高速钢制作的低速切

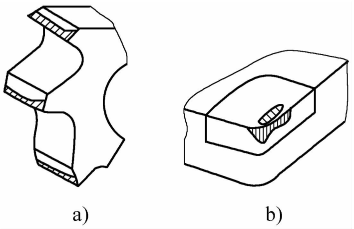


图2-24 铣刀的磨损形式

a）后刀面磨损 b）前、后刀面同时磨损

削刀具（如拉刀），磨粒磨损是刀具磨损的主要原因，因为低速切削时的切削温度低，其他形式的磨损还不显著。而高速钢的耐磨性较差也是造成磨粒磨损的基本原因，硬质合金刀具硬度高，发生磨粒磨损则较少。

2）粘结磨损。切削时，切屑与前刀面、工件与后刀面之间，存在很大的压力和强烈的摩擦，形成新鲜表面接触而发生冷焊粘结。由于摩擦面之间的相对运动，冷焊结点破裂被一方带走，从而造成粘结磨损。一般情况下，冷焊结点的破裂发生在较软的工件或切屑这一方，但由于刀具表层结构缺陷等原因，冷焊结点的破裂也会发生在刀具这一方，使刀具材料的颗粒被切屑或工件粘走，从而造成刀具的粘结磨损。各种材料的刀具都可能因粘结而发生磨损。高速钢刀具有较高的抗拉强度，抗粘结磨损的能力强，粘结磨损较慢，硬质合金刀具虽有较高的硬度，但在中等偏低的切削速度下，切削塑性金属时，粘结磨损比较严重。

3）扩散磨损。在高温、高压的作用下，刀具表面与切出的工件、切屑新鲜表面接触，刀具和切屑、工件双方的化学元素互相扩散，改变了刀具材料及工件材料的化学成分，削弱了刀具材料的切削性能，使刀具磨损加剧，这种磨损称为扩散磨损。用硬质合金刀具切削钢料时，从800℃开始，硬质合金中的钴便迅速扩散到切屑、工件中去，钴的扩散降低了碳化钨、碳化钛的粘结强度，加速了刀具的磨损。此外，随着切削速度（温度）的提高，化学元素扩散的速率增加，扩散磨损的程度加剧。扩散磨损的快慢与程度还与刀具材料中化学元素的扩散速率关系密切，如硬质合金中钛元素的扩散速率远低于钨与钴，故YT类硬质合金的抗扩散磨损能力优于YG类硬质合金；YN类硬质合金和TiC、TiN涂层刀片的抗扩散磨损能力则更佳；在硬质合金中添加钽、铌后形成的固溶体则更不容易扩散，具有良好的抗扩散磨损能力。高速高温下切削时，扩散磨损是硬质合金刀具急剧磨损的主要原因。

4）化学磨损。当切削温度达到700～800℃时，空气中的氧和硬质合金中的TiC、WC、Co等发生化学作用，在刀具表面形成一层松脆的氧化物，如四氧化三钴（Co_3O_4）、三氧化钨（WO_3）、一氧化钴（CoO）和二氧化钛（TiO_2）等，容易被切屑、工件带走而形成化学磨损。

5）相变磨损。工具钢具有一定的相变温度，当切削温度超过相变温度时，其金相组织就会发生变化，硬度显著下降。例如高速钢（W18Cr4V）刀具的切削温度达到650～700℃时，高速钢发生相变，刀具表面硬度降低，从而使刀具迅速磨损。相变磨损是工具钢刀具急剧磨损的主要原因。

此外，用硬质合金铣刀进行切削时，由于刀齿周期性的切入、切出，刀齿骤冷骤热，产生相当大的热应力。不断反复的热应力会使刀齿表面出现裂纹，甚至使刀齿崩碎而损坏。

（3）刀具磨损的过程 随着切削时间的延长，刀具的磨损量在不断地增加。但在不同的时间段，刀具的磨损速度及实际的磨损量是不同的。图2-25所示为刀具磨损和切削时间的关系。刀具磨损过程可分为初期磨损（曲线*AB*）、正常磨损（曲线*BC*）和急剧磨损（曲线*CD*）三个阶段。

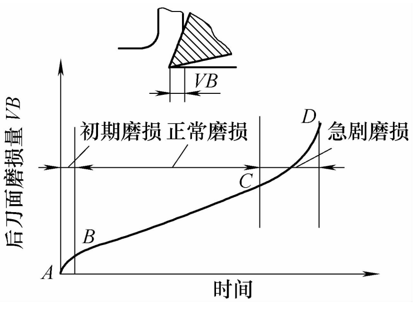


图2-25 刀具磨损和切削时间的关系

1）初期磨损阶段。在刀具开始切削的较短时间内，后刀面上即产生一个磨损量为

0.05～0.1mm 的窄小磨损带，这一阶段称为初期磨损阶段，其主要特点是磨损速率大。这是由于新刃磨的刀具后刀面上存在微观的凹凸不平、氧化或脱碳等缺陷，刀具切削刃锋利，后刀面与工件表面接触面积小，接触压力大，单位面积上的摩擦力大所致。初期磨损量的大小与刀面刃磨的质量关系密切，经仔细研磨的刀具，其初期磨损量较小。

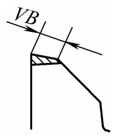
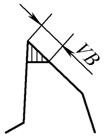
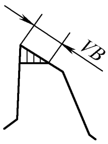
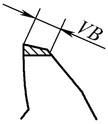
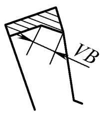
2）正常磨损阶段。经过初期磨损阶段后，刀具表面粗糙度值减小，刀面上的接触压应力减小，刀具的磨损速率明显降低。磨损量随时间均匀缓慢地增加，这一阶段称为正常磨损阶段。这一阶段的时间较长，是刀具发挥正常切削作用的阶段。

3）急剧磨损阶段。刀具经过正常磨损阶段后，当磨损量达到一定数值后，切削刃钝化，切削力、切削温度迅速上升，刀具磨损速率急剧增大，使刀具失去切削能力，这个阶段称为急剧磨损阶段。为保证加工质量，合理使用刀具，加工中应在急剧磨损阶段到来之前及时更换刀具。

6. 刀具的磨钝标准

刀具的磨损量达到一定限度后，就不能继续使用，需要换刀或刃磨，这个磨损限度称为磨钝标准。一般刀具都存在后刀面磨损，其对加工质量、切削力、切削温度的影响比前刀面磨损显著，同时后刀面上的磨损量易于测量，故多以后刀面上磨损棱带的平均宽度 *VB* 作为磨钝标准。高速钢铣刀的磨钝标准见表 2-14，硬质合金铣刀的磨钝标准见表 2-15。

表 2-14 高速钢铣刀的磨钝标准

顺序	铣刀种类	加工材料	加工性质	磨损简图	磨钝标准 *VB*/mm
1	圆柱铣刀	钢	粗加工		0.4～0.6
2			半精加工		0.15～0.25
3		铸铁	粗加工		0.5～0.8
4			半精加工		0.2～0.3
5	面铣刀	钢和铸铁	粗加工		1.5～2.0
6			半精加工		0.3～0.5
7	立铣刀 $d_0<15$mm	钢	粗加工		0.15～0.2
8	立铣刀 $d_0>15$mm				0.3～0.5
9	立铣刀 $d_0<15$mm		半精加工		0.10～0.15
10	立铣刀 $d_0>15$mm				0.2～0.25
11	三面刃铣刀	钢和铸铁	粗加工		0.4～0.6
12			半精加工		0.15～0.2
13	沟槽铣刀和锯片铣刀	钢和铸铁	—		0.15～0.2

（续）

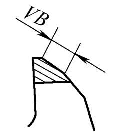
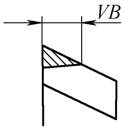
顺序	铣刀种类	加工材料	加工性质	磨损简图	磨钝标准 VB/mm
14	不铲齿的成形铣刀	钢	粗加工		0.6～0.7
15			半精加工		0.2～0.3
16	铲齿的成形铣刀	钢	粗加工		0.3～0.4
17			半精加工		0.2

表 2-15 硬质合金铣刀的磨钝标准（VB） （单位：mm）

顺序	铣刀种类	加工性质	加工材料				
			钢 σ_b/MPa			铸铁	轻金属
			600～800	800～1000	1000～1200 120000		
1	面铣刀	粗加工	1.5～2.0	1.75～2.25	2～2.5	1～2	—
		精加工	1.0	1.25	1.5	1.0	0.3
2	盘铣刀	—	1～1.25	1.5～2.0	1.5～2.0	1.5～2.0	—
3	平面铣刀	—	0.5	0.5	—	0.6	0.3

7. 刀具寿命与刀具总寿命

在生产中，不能经常卸下刀具来测量其后刀面上的磨损量，因而不能直接用刀具磨损量来判断刀具是否达到磨钝标准而需换刀，而是根据切削中产生的某些现象来观察刀具是否磨钝。例如粗加工时看工件的加工表面上是否出现光亮带、切屑颜色和形状的变化以及有无振动和不正常的声音；精加工时，可以观察加工表面粗糙度的变化以及测量工件的尺寸、形状精度等。

由于刀具的磨损量是随着切削时间的延续而不断增加的，当确定了刀具的磨钝标准 VB 后，把刃磨后的刀具自开始切削一直到磨损量达到磨钝标准为止总的切削时间定义为刀具寿命（T），并用 T 来判断刀具是否磨钝而需更换刀具。通常，刀具寿命高，表示刀具磨损慢。刀具寿命是一个重要参数。在相同的切削条件下，在改变工件材料、刀具材料、刀具几何参数或切削用量中的任何一个参数时，可以用刀具寿命来判断工件、刀具材料的切削性能是否良好，以及刀具几何参数、切削用量的选择是否合理。各种铣刀合理寿命（T）参考数值见表 2-16。

（1）影响刀具寿命的因素 总体看来，凡是影响刀具磨损的因素都会影响刀具寿命。由试验得出的刀具寿命 T（min）为

$$T = \frac{C_T}{v_c^{\frac{1}{m}} f^{\frac{1}{n}} a_p^{\frac{1}{p}}}$$

式中 m、n、p——分别为切削速度、进给量和背吃刀量的指数的倒数；

C_T——与工件材料、刀具材料和其他切削条件有关的常数。

用硬质合金刀具切削 σ_b = 0.736GPa 的碳素钢时，试验公式为

$$T = \frac{C_T}{v_c^5 f^{2.25} a_p^{0.75}}$$

可见，切削用量中切削速度 v_c 对刀具寿命 T 的影响最大，进给量 f 次之，背吃刀量 a_p

表 2-16 各种铣刀合理寿命（T）参考数值 （单位：mm）

刀具材料	铣刀名称	铣刀直径/mm								
		20	50	75	100	150	200	300	400	500
高速钢	面铣刀	—	100	120	130	170	250	300	400	500
	立铣刀	60	80	100	—	—	—	—	—	—
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀	—	100	120	130	170	250	—	—	—
	键槽铣刀	—	80	90	100	110	120	—	—	—
	圆柱铣刀	100	170	280	400	—	—	—	—	—
	角度铣刀	—	100	150	170	—	—	—	—	—
	燕尾槽铣刀	—	120	130	200	—	—	—	—	—
硬质合金	面铣刀	—	90	100	120	200	300	500	600	800
	立铣刀	75	90	—	—	—	—	—	—	—
	三面刃盘铣刀、锯片铣刀	—	—	130	160	200	300	400	—	—
	键槽铣刀	—	—	120	150	180	—	—	—	—
	圆柱铣刀	—	—	—	150	180	200	—	—	—
	燕尾槽铣刀	—	—	150	180	—	—	—	—	—
	花键铣刀	—	—	150	180	—	—	—	—	—

的影响最小。在为优选切削用量以提高切削效率时，从刀具寿命方面考虑，应该首先选取大的背吃刀量 a_p；再根据加工要求等条件选用允许的最大进给量 f；最后在刀具寿命或机床功率允许的条件下，选取合适的切削速度 v_c。

此外，v_c、f、a_p 三者对刀具寿命的影响程度和对切削温度的影响是完全一致的，这表示凡是影响切削温度的因素都影响刀具寿命。加工件材料的强度、硬度高，导热性差，刀具寿命下降；刀具材料的耐热性好、硬度高，刀具寿命提高；适当的刀具前角（γ_o）、后角（α_o）和较小的主偏角（κ_r），经过仔细研磨的刀具表面以及在加工中使用适当的切削液都可以提高刀具寿命。

（2）刀具寿命的选择 在实际生产中，由于刀具寿命和生产率、加工成本的关系密切（见图 2-26），故合理的刀具寿命有两种计算方法：一是根据单件工时最短的原则来确定刀具寿命，即最大生产率刀具寿命（T_P）；二是根据单件工序成本最低的原则来确定刀具寿命，即最经济的刀具寿命（T_C）。由图 2-26 可见，$T_C > T_P$。因此，在一般情况下应采用最经济的耐用度 T_C；只有当生产任务十分紧迫或生产中出现不平衡环节时，才采用最大生产率刀具寿命 T_P。

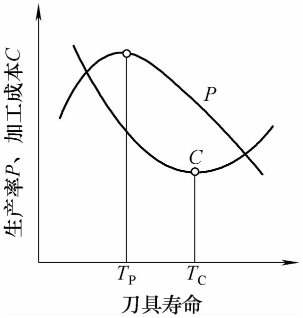


图 2-26 刀具寿命和生产率、加工成本的关系

（3）刀具总寿命 刀具总寿命的含义与刀具寿命是不同的。刀具总寿命是表示一把新刀具从投入切削起到报废为止总的切削时间。由于其中有多次重磨，因此刀具总寿命等于该刀具的重磨次数乘以刀具寿命。

2.1.5 铣刀几何角度的选择

铣削加工时，选择合理的铣刀几何角度，能够减少铣削力、切削热、刀具磨损，在相同的切削条件下，能充分发挥刀具的切削性能，提高加工质量和生产率。铣刀的主要几何角度

有前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角等（见图2-27）。

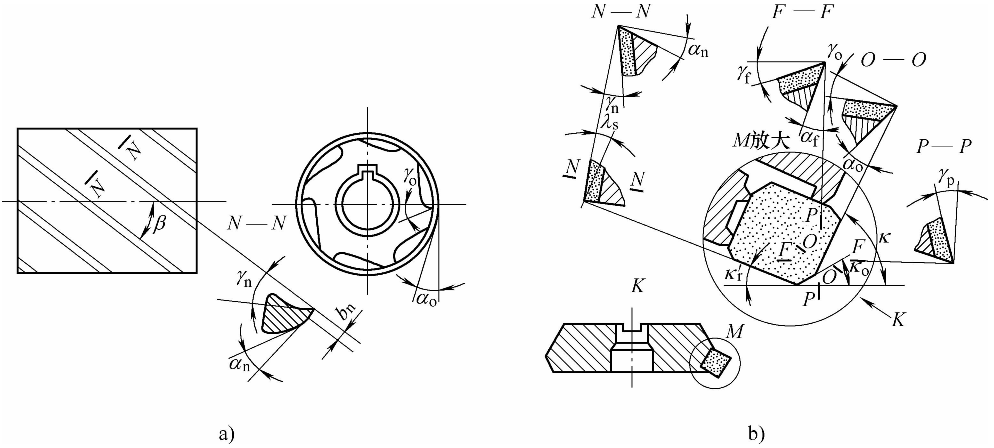


图2-27 铣刀的几何角度

a）圆柱铣刀的角度 b）面铣刀的角度

（1）前角 γ_n 和 γ_o 的选择 由图2-27a可见，γ_n 为铣刀的法向前角，γ_o 为端面前角。标注 γ_n 以便于制造和刃磨，而检验时通常是测量端面前角 γ_o。γ_n 和 γ_o 可以用下式进行换算

$$\tan\gamma_n = \tan\gamma_o\cos\beta$$

式中 β——圆柱铣刀刀齿螺旋角（°）。

前角的大小直接影响切削刃的锋利性和强度。合理地增大前角，可减小切削层变形和切屑流出时的摩擦，从而减小切削力、切削热、刀具磨损和切削功率；但前角太大，会削弱刃口强度、恶化散热条件，反而使刀具磨损增大，甚至导致崩刃。因此，选择前角的大小时，既要保证切削刃锋利，又要兼顾切削刃的强度。通常，首先是考虑工件的性质，再考虑刀具材料和其他加工条件。基本原则如下：

1）加工塑性材料时，应取较大的前角；加工脆性材料时，可选较小的前角。

2）工件材料的强度、硬度高时，应选较小的前角；反之，可选较大的前角。

3）高速钢刀具的抗弯强度和抗冲击性能较好，可取较大的前角；而硬质合金刀具的抗弯强度和抗冲击能力较差，应取较小的前角。当硬质合金铣刀在冲击大的条件下切削时，应考虑采用负前角；如采用正前角，则刃口应加负倒棱（负倒棱宽度 $b_{r1} \leq f_z$），以增加切削刃的强度。

4）粗加工及断续切削时，为保证切削刃强度，应选较小的前角；精加工时，为使切削刃锋利和保证加工表面质量，应取较大的前角。

5）机床、夹具、工件、刀具工艺系统刚性不足时，应取较大的前角，以降低切削力和防止振动。

铣刀前角参考值见表2-17和表2-18。

（2）后角 α_o 的选择 后角和前角一样，有法后角 α_n 和端面后角 α_o，它们的换算公式如下：

$$\tan\alpha_o = \tan\alpha_n\cos\beta$$

式中 β——圆柱铣刀刀齿螺旋角（°）。

后角的主要作用是减少刀具后刀面与工件加工表面之间的摩擦，提高已加工表面质量与刀具寿命。但后角过大会降低切削刃强度和刀具散热能力，导致刀具寿命下降，甚至造成崩刃。后角选择的主要原则如下：

1）切削塑性材料以及强度、硬度低的材料时，可取较大的后角；而切削脆性材料及强度、硬度高的材料时，应取较小的后角，以保证刃口强度。

2）精加工时，为保证加工表面质量，宜取较大的后角；粗加工时，为保证刃口强度，应取较小的后角；但刀具已采用负前角时，则可采用较大的后角。

3）工件、刀具、机床等工艺系统刚性差

时，应选较小的后角，以防止振动。

4）铣削的切削厚度小，铣削时的刀齿磨损主要发生在后刀面上，因此，应适当增大铣刀的后角，以减少刀具磨损。

5）键槽铣刀的直径尺寸直接影响键槽宽度的精度。为避免键槽铣刀重磨后的直径尺寸变化过大，应适当减小其后角。

铣刀后角数值的选择见表2-17和表2-18。

（3）主偏角 κ_r 的选择。面铣刀（见图2-27b）的主偏角大小既影响刀头的强度和散热条件，又影响背向切削力 F_P 和进给方向切削力 F_{cN} 的比值。因此，面铣刀主偏角主要是根据工件材料的性质和工艺系统的刚性选择，选择原则如下：

1）当铣削强度高、硬度高的材料时，应选取较小的主偏角，以提高刀头强度和散热能力。

2）当工艺系统刚性足够时，可考虑采用较小的主偏角，以提高刀具寿命；当刚性不足时，必须采用较大的主偏角，以防止刀轴变形和产生振动。

圆柱铣刀只有主切削刃，其主偏角 $\kappa_r=90°$；立铣刀、盘铣刀的主偏角同样是 $\kappa_r=90°$。高速钢铣刀和硬质合金铣刀的主偏角分别见表2-17和表2-18。

（4）副偏角 κ_r' 的选择　副偏角 κ_r' 的主要作用是减小副切削刃、副后刀面与工件已加工表面之间的摩擦，同时也影响刀头散热体积和加工表面的表面粗糙度。由图2-28可见，当减小副偏角 κ_r' 时，刀尖角增大，刀头的强度和散热体积增加，同时已加工表面上的残留面积高度 H 减小，即降低了已加工表面的表面粗糙度值。副偏角的选择原则如下：

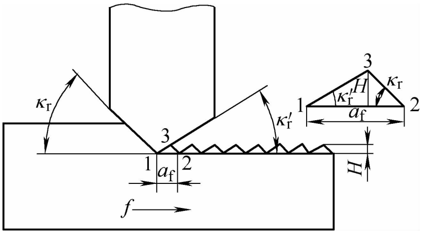


图2-28　已加工表面上的残留面积

1）铣削强度、硬度高的材料时，应取较小的副偏角，以提高刀头的强度。

2）切削时冲击大或断续切削时，应取较小的偏角。

3）工艺系统刚性较好时，在不引起振动的条件下，副偏角可取较小值。

4）精加工时，为了减小加工表面的表面粗糙度值，应取较小的副偏角。

圆柱铣刀因无副切削刃，故无副偏角。铣刀副偏角 κ_r' 的参考值见表2-17及表2-18。

表2-17　高速钢铣刀几何角度的选择

<table>
<tr><th colspan="9">前角 γo/（°）</th></tr>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">加工材料</th><th rowspan="2">面铣刀、圆柱铣刀、盘铣刀、立铣刀</th><th colspan="2">切槽铣刀、切断铣刀</th><th colspan="2">成形铣刀、角度铣刀</th><th rowspan="2">备　注</th></tr>
<tr><th>≤3mm</th><th>>3mm</th><th>粗铣</th><th>精铣</th></tr>
<tr><td rowspan="3">碳钢及合金钢抗拉强度 Rm/MPa</td><td>≤600</td><td>20</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="2">15</td><td>10</td><td rowspan="10">①用圆柱形铣刀铣削 Rm < 600MPa钢料，当刀齿螺旋角 β>30°时，取 γo=15°
②当 γo>0°的成形铣刀铣削精密轮廓时，铣刀外形需要修正
③用面铣刀铣削耐热钢时，前角取表中较大值；用圆柱形铣刀铣削时，则取较小值</td></tr>
<tr><td>600~1000</td><td>15</td><td rowspan="2">5</td></tr>
<tr><td>>1000</td><td>10</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">耐热钢</td><td>10~15</td><td>—</td><td>10~15</td><td>5</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="3">铸铁（HBS）</td><td>≤150</td><td>15</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">10</td><td>15</td><td rowspan="3">5</td></tr>
<tr><td>150~220</td><td>10</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>>220</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">铜合金</td><td>10</td><td>5</td><td>10</td><td>10</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">铝合金</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">塑料</td><td>6~10</td><td>8</td><td>10</td><td>—</td><td>—</td></tr>
</table>

（续）

后角、偏角（°）及过渡刃长度/mm								
铣刀类型		α_o	α'_o	κ_r	κ'_r	$\kappa_{r\varepsilon}$	b_ε	备注
面铣刀	细齿	16	8	90	1～2	45	1～2	①面铣刀 κ_r 主要按工艺系统刚性选取。刚性系统较好，铣削余量较小时，取 $\kappa_r=30°\sim45°$；中等刚性而余量较大时，取 $\kappa_r=60°\sim75°$；铣削相互垂直表面的面铣刀，取 $\kappa_r=90°$ ②面铣刀铣削耐热钢时，$\kappa_r=30°\sim60°$ ③刃磨铣刀时，在后刀面上可沿切削刃留一刃带，其宽度不得超过 0.1mm，但槽铣刀和切断铣刀（圆锯）不留刃带
	粗齿	12		30～90		15～45		
圆柱铣刀	整体细齿	16	8	—	—	—	—	
	粗齿及镶齿	12						
		20						
两面刃及三面刃铣刀	整体	20	6	—	1～2	45	1～2	
	镶齿	16						
切槽铣刀		20	—	—	1～2	—	—	
切断铣刀（$L>3$mm）		20	—	—	0.25～1	45	0.5	
立铣刀		14	18	—	3	45	0.5～1	
成形铣刀及角度铣刀	尖齿	16	8	—		—	—	
	铲齿	12						
键槽铣刀	$d_0\leqslant16$mm	20	8	—	1.5～2	—	—	
	$d_0>16$mm	16						

螺旋角/（°）

铣刀类型		β
面铣刀	整体	25～40
	镶齿	10
圆柱铣刀	细齿	30～45
	粗齿	40
	镶齿	20～45
立铣刀		30～45
键槽铣刀		15～25

铣刀类型			β
盘铣刀	两面刃		15
	三面刃		8～15
	错齿三面刃		10～15
	镶齿三面刃	$L>15$mm	12～15
		$L<15$mm	8～10
	组合齿三面刃		15

（5）刃倾角 λ_s 的选择　刃倾角 λ_s 主要影响切屑的流向、刀头强度和刀具切入、切出的平稳性。选择原则如下：

1）精加工时，防止切屑流向已加工表面而影响工件的表面质量，λ_s 应选取正值。

2）粗铣或铣削高硬度钢件时，为增强切削刃的抗冲击能力，并使切削刃后部先接触工件，然后逐步切入，宜选用负刃倾角。

3）工艺系统刚性不足时，不宜选用负刃倾角，以防止引起振动。

4）圆柱铣刀、立铣刀的螺旋角 β（见图 2-27a），就是刃倾角 λ_s。为使切削平稳、排屑方便、提高生产率和表面质量，可取较大的 β 值。

铣刀切削刃倾角 λ_s（螺旋角 β）值的选择见表 2-17 和表 2-18。

表 2-18 硬质合金铣刀几何角度的选择

铣刀类型	加工材料		γ_o/(°)	α_o/(°)		α'_o/(°)	$\alpha_{o\varepsilon}$/(°)	β (λ_s)/(°)	κ_r/(°)	κ'_r/(°)	$\kappa_{r\varepsilon}$/(°)	$b_{r\varepsilon}$/mm	备注
				α_f <0.25mm/z	α_f >0.25mm/z								
面铣刀	钢 R_m/MPa	<650	+5	12~16	6~8	8~10	$=\alpha_o$	−12~−15	20~75	5	$\kappa_r/2$	1~1.5	①半精铣和精铣钢（R_m = 600 ~ 800MPa）时，γ_o = −5°，α_o = 5° ~ 10° ②在工艺系统刚性较好的情况下，铣削余量 < 3mm 时，取 κ_r = 20° ~ 30°；在中等刚性下，余量为 3 ~ 6mm 时，取 κ_r = 45° ~ 75° ③面铣刀对称铣削，初始铣削深度 0.05mm 时，取 λ_s = −15°；非对称铣削，铣削深度 < 0.45mm 时，取 λ_s = −5°，当以 κ_r = 45° 的面铣刀铣削铸铁时，λ_s = −20°；当 κ_r = 60° ~ 75° 时，λ_s = −10°
		650~950	−5										
		1000~1200	−10										
	耐热钢		+8	10	10	8~10	10	0	20~75	10	—	—	
	灰铸铁	<200HBS	+5	12~16	6~8	8~10	$=\alpha_o$	−12~−15	20~75	5	$\kappa_r/2$	1~1.5	
		200~250HBS	0										
	可锻铸铁		+7	12~16	6~8	8~10	$=\alpha_o$	−12~−15	20~75	5	$\kappa_r/2$	1~1.5	
圆柱形铣刀	碳钢和合金钢 R_m <750MPa		+5	17		—	—	24~30	—	—	—	—	后刀面上可允许沿切削刃有宽度不大于 0.1mm 的刃带
	铸铁 <200HBS												
	青铜 <140HBS												
	碳钢和合金钢 R_m =750~1100MPa		0	17									
	铸铁 >200HBS												
	青铜 >140HBS												
	碳钢和合金钢 R_m >1100MPa		−5	15	—								
	耐热钢、钛合金		6~15	15	—	—	20	—	—	—	—	—	

（续）

铣刀类型	加工材料		γ_o /(°)	α_o(°) α_f <0.25 mm/z	α_f >0.25 mm/z	α'_o /(°)	$\alpha_{o\varepsilon}$ /(°)	β (λ_s) /(°)	κ_r /(°)	κ'_r /(°)	$\kappa_{r\varepsilon}$ /(°)	$b_{r\varepsilon}$ /mm	备注
立铣刀	碳钢和合金钢 R_m <750MPa		5	17		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	①当工艺系统刚性差及铣削断面大时（$a_p>d_0$，$a_e>0.5d_0$），以及 $v_f<100$m/min 时，$\gamma_o=5°\sim8°$ ②立铣刀端齿前角取 -3° ~ 3°，铣削软钢时用大值，铣削硬钢时用小值
	铸铁 <200HBS												
	青铜 <140HBS												
	碳钢和合金钢 R_m =750 ~ 1100MPa		0	17		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	
	铸铁 >200HBS												
	青铜 >140HBS												
	碳钢和合金钢 R_m >1100MPa		-5	15		6	17	22 ~ 40	—	3 ~ 4	45	0.8 ~ 1.3	
	耐热钢、钛合金		10 ~ 15	15		—	—	—	—	—	—	—	
圆盘铣刀	钢 R_m/MPa	≤800	-5	20		4	20	8 ~ 15	—	2 ~ 5	45	1	①当工艺系统刚性差及铣削断面大时（$a_p>d_0$，$a_e>0.5d_0$），以及 $v_f<100$m/min 时，$\gamma_o=5°\sim8°$ ②立铣刀端齿前角取 -3° ~ 3°，铣削软钢时用大值，铣削硬钢时用小值
		>800	-10	20 ~ 25			20 ~ 25						
	灰铸铁		+5	10 ~ 15		4	10 ~ 15	8 ~ 15	—	2 ~ 5	45	1	
	耐热钢、钛合金		10 ~ 15	15		—	—	—	—	—	—	—	

2.1.6 常用铣刀的主要用途及规格尺寸

1. 圆柱形铣刀的用途及规格尺寸

圆柱形铣刀的用途及规格尺寸见表2-19。

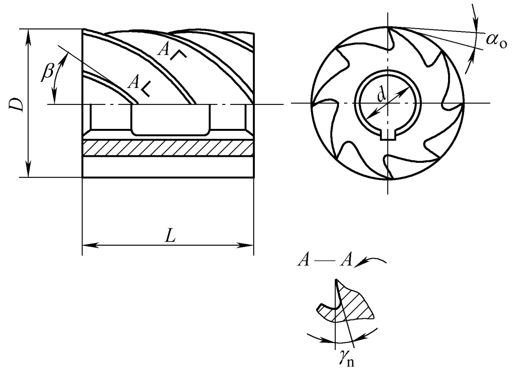
2. 三面刃铣刀的用途及规格尺寸

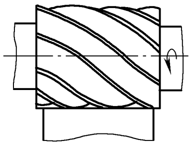
（1）直齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸（见表2-20）。

（2）错齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸（见表2-21）。

（3）硬质合金错齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸（见表2-22）。

表 2-19 圆柱形铣刀的用途及规格尺寸



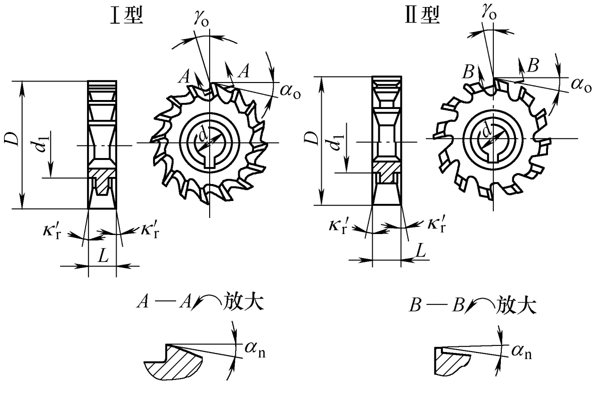


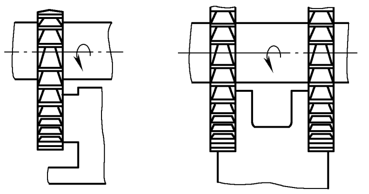
螺旋齿圆柱形铣刀，仅用于铣削宽度不大的平面

<table>
<tr><th colspan="2">D</th><th colspan="2">L</th><th colspan="2">d</th><th colspan="5" rowspan="2">参考</th></tr>
<tr><th colspan="6">mm</th></tr>
<tr><th rowspan="2">基本尺寸</th><th rowspan="2">极限偏差
js16</th><th rowspan="2">基本尺寸</th><th rowspan="2">极限偏差
js16</th><th rowspan="2">基本尺寸</th><th rowspan="2">极限偏差
H7</th><th rowspan="2">β</th><th rowspan="2">γ_n</th><th rowspan="2">α_o</th><th colspan="2">齿数</th></tr>
<tr><th>粗齿</th><th>细齿</th></tr>
<tr><td rowspan="3">50</td><td rowspan="3">±0.80</td><td>50</td><td>±0.80</td><td rowspan="3">22</td><td rowspan="7">$^{+0.021}_{0}$</td><td rowspan="15">30°~45°</td><td rowspan="15">15°</td><td rowspan="15">12°</td><td rowspan="7">6</td><td rowspan="3">8</td></tr>
<tr><td>63</td><td rowspan="2">±0.95</td></tr>
<tr><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="4">63</td><td rowspan="8">±0.95</td><td>50</td><td>±0.80</td><td rowspan="4">27</td><td rowspan="4">10</td></tr>
<tr><td>63</td><td rowspan="2">±0.95</td></tr>
<tr><td>80</td></tr>
<tr><td>100</td><td>±1.10</td></tr>
<tr><td rowspan="4">80</td><td>63</td><td rowspan="2">±0.95</td><td rowspan="4">32</td><td rowspan="8">$^{+0.025}_{0}$</td><td rowspan="4">8</td><td rowspan="4">12</td></tr>
<tr><td>80</td></tr>
<tr><td>100</td><td>±1.10</td></tr>
<tr><td>125</td><td>±1.25</td></tr>
<tr><td rowspan="4">100</td><td rowspan="4">±1.10</td><td>80</td><td>±0.95</td><td rowspan="4">40</td><td rowspan="4">10</td><td rowspan="4">14</td></tr>
<tr><td>100</td><td>±1.10</td></tr>
<tr><td>125</td><td rowspan="2">±1.25</td></tr>
<tr><td>160</td></tr>
</table>

注：圆柱形铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 1115.1—2002。

表 2-20 直齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸





三面刃铣刀铣削侧面（或凸台平面）

两把三面刃铣刀铣削平行阶台平面，铣刀的直径应相等

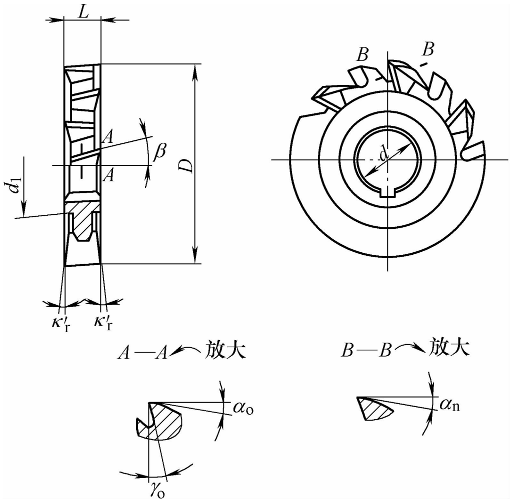
D 基本尺寸 (mm)	D 极限偏差 js16	L 基本尺寸 (mm)	L 普通级 k11	L 精密级 k8	d 基本尺寸 (mm)	d 极限偏差 H7	参考 d_1/mm	参考 κ_r'	参考 γ_o	参考 α_o	参考 α_n	齿数 Ⅰ	齿数 Ⅱ
50	±0.80	4	$^{+0.075}_{0}$	$^{+0.018}_{0}$	16	$^{+0.018}_{0}$	27	0′~30′	15°	12°	6°	14	12
		5											
		6											
		7	$^{+0.090}_{0}$	$^{+0.022}_{0}$									
		8											
		10											
63	±0.95	4	$^{+0.075}_{0}$	$^{+0.018}_{0}$	22	$^{+0.021}_{0}$	34					16	14
		5											
		6											
		7	$^{+0.090}_{0}$	$^{+0.022}_{0}$									
		8											
		10											
		12	$^{+0.110}_{0}$	$^{+0.027}_{0}$									
		14											
		16											
80		5	$^{+0.175}_{0}$	$^{+0.018}_{0}$	27		41					18	16
		6											
		7	$^{+0.090}_{0}$	$^{+0.022}_{0}$									
		8											
		10											
		12	$^{+0.110}_{0}$	$^{+0.027}_{0}$									
		14											
		16											
		18											
		20	$^{+0.130}_{0}$	$^{+0.033}_{0}$									

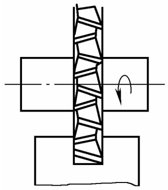
（续）

D		L			d		参考						
mm													
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	普通级 k11	精密级 k8	基本尺寸	极限偏差 H7	d_1 /mm	κ_r'	γ_o	α_o	α_n	齿数 I	齿数 Ⅱ
100	±1.10	6	+0.075 0	+0.018 0	32	+0.025 0	47	0′~30′	15°	12°	6°	20	18
		7	+0.090 0	+0.022 0									
		8											
		10											
		12	+0.110 0	+0.027 0									
		14											
		16											
		18											
		20	+0.130 0	+0.033 0						10°			
		22											
		25											
125	±1.25	8	+0.090 0	+0.022 0								22	20
		10											
		12	+0.110 0	+0.027 0									
		14											
		16											
		18											
		20	+0.130 0	+0.033 0									
		22											
		25											
		28											
160		10	+0.090 0	—	40		55					26	24
		12	+0.110 0										
		14											
		16											
		18											
		20	+0.130 0										
		22											
		25											
		28											
		32	+0.160 0										
200	±1.45	12	+0.110 0									30	28
		14											
		16											
		18											
		20	+0.130 0										
		22											
		25											
		28											
		32	+0.160 0										
		36											
		40											

注：直齿三面刃铣刀的规格尺寸，摘自 GB/T 6119.1—1996。

表 2-21 错齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸





错齿（或镶齿）三面刃铣刀铣削各种直通槽或不通槽

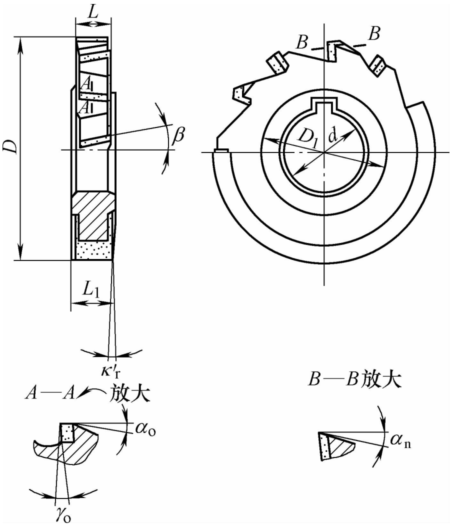
D (mm)		L (mm)		d (mm)		参考						
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 k11	基本尺寸	极限偏差 H7	d_1 /mm	κ_r'	β	γ_o	α_o	α_n	齿数
50	±0.80	4	+0.075 0	16	+0.018 0	27	0′~30′	10°~15°	15°	10°	6°	12
		5										
		6										
		8	+0.090 0									
		10										
63	±0.95	4	+0.075 0	22	+0.021 0	34						14
		5										
		6										
		8	+0.090 0									
		10										
		12	+0.110 0									12
		14										
		16										
80		5	+0.075 0	27		41						16
		6										
		8	+0.090 0									
		10										
		12	+0.110 0									14
		14										
		16										

（续）

D		L		d		参考						
mm												
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 k11	基本尺寸	极限偏差 H7	d_1 /mm	κ_r'	β	γ_o	α_o	α_n	齿数
80	±0.95	18	$^{+0.110}_{0}$	27	$^{+0.021}_{0}$	41	0～30′	10°～15°	15°	10°	6°	14
		20	$^{+0.130}_{0}$									
		6	$^{+0.075}_{0}$	32	$^{+0.025}_{0}$	47						18
		8	$^{+0.090}_{0}$									
		10										
100	±1.10	12	$^{+0.110}_{0}$									16
		14										
		16										
		18										
		20	$^{+0.130}_{0}$									
		22										
		25										
125	±1.25	8	$^{+0.090}_{0}$									
		10										
		12	$^{+0.110}_{0}$									
		14										18
		16										
		18										
		20	$^{+0.130}_{0}$	40								
		22										
		25										
		28										
160		10	$^{+0.090}_{0}$			55						24
		12	$^{+0.110}_{0}$									
		14										
		16										
		18										
		20	$^{+0.130}_{0}$									22
		22										
		25										
		28										
		32	$^{+0.160}_{0}$									
200	±1.45	12	$^{+0.110}_{0}$									28
		14										
		16										
		18										
		20	$^{+0.130}_{0}$									26
		22										
		25										
		28										
		32	$^{+0.160}_{0}$									
		36										
		40										

注：错齿三面刃铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 6119.1—1996。

表 2-22 硬质合金错齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸



D		L		d		参考								
mm														
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 k11	基本尺寸	极限偏差 H7	齿数	D_1 /mm	L_1 /mm	β	γ_o	α_o	α_n	κ_r'	硬质合金刀片型号
63	±0.95	8	+0.090 0	22	+0.021 0	8	34	9	5° ~ 10°	5°	10°	3° ~ 5°	2°	A108
		10						11						D210A
		12	+0.110 0					13						
		14						15						D214
		16						17						
80		8	+0.090 0	27		10	41	9						A108
		10						11						D210A
		12	+0.110 0					13						A112
		14						15						
		16						17						D214A
		18				8		20						D218B
		20	+0.130 0					22						
100	±1.10	8	+0.090 0	32	+0.025 0	12	47	10						A108
		10						12						D210A
		12	+0.110 0			10		14						A112
		14						16						
		16						18						D214A
		18						20						
		20	+0.130 0					22						D220
		22						24						
		25						27						D224

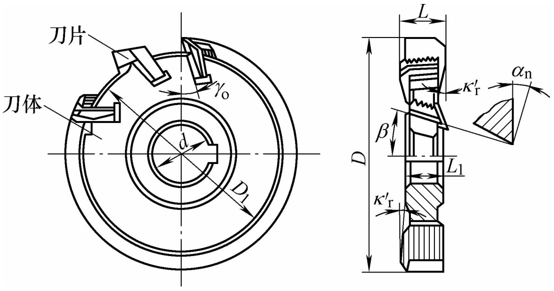
（续）

D		L		d		参考								
mm														
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 k11	基本尺寸	极限偏差 H7	齿数	D_1 /mm	L_1 /mm	β	γ_o	α_o	α_n	κ_r'	硬质合金刀片型号
125	±1.25	8	+0.090 0	32	+0.025 0	14	47	10	5° ~ 10°	5°	10°	3° ~ 5°	2°	A108
		10				12		12						D210A
		12	+0.110 0					14						A112
		14						16						
		16						18						D214A
		18	+0.130 0			10		20						
		20						22						D220
		22						24						
		25						27						D224
		28						30						D226
160		10	+0.090 0	40		16	55	12						D210A
		12	+0.110 0					14						A112
		14						16						
		16						18						D214A
		18				14		20						
		20	+0.130 0					22						D220
		22						24						
		25				12		27						D222A
		28						30						D226
		32	+0.160 0					34						D230
200	±1.45	12	+0.110 0			18		14						A112
		14						16						
		16				16		18						D214A
		18						20						
		20	+0.130 0					22						
		22						24						D220
		25				14		27						D222A
		28						30						D226
		32	+0.160 0					34						D230
250		14	+0.110 0	50		20	68	16						A112
		16						18						D214A
		18						20						D220
		20	+0.130 0			18		22						
		22						24						
		25						27						D222A
		28						30						D226
		32	+0.160 0					34						D230

注：1. 硬质合金错齿三面刃铣刀的用途见表 2-21。
2. 硬质合金错齿三面刃铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 9062—2006。

（4）镶齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-23）。

表 2-23 镶齿三面刃铣刀的用途及规格尺寸



<table>
<tr><td colspan="2">D</td><td colspan="2">L</td><td colspan="2">d</td><td rowspan="2">D_1</td><td rowspan="2">L_1</td><td colspan="5" rowspan="2">参 考</td></tr>
<tr><td colspan="6">mm</td></tr>
<tr><td>基本尺寸</td><td>极限偏差
js16</td><td>基本
尺寸</td><td>极限偏差
H12</td><td>基本
尺寸</td><td>极限偏差
H7</td><td colspan="2">mm</td><td>β</td><td>γ_o</td><td>α_n</td><td>κ'_r</td><td>齿数</td></tr>
<tr><td rowspan="5">80</td><td rowspan="5">±0. 95</td><td>12</td><td rowspan="4">+0. 18
0</td><td rowspan="5">22</td><td rowspan="12">+0. 021
0</td><td rowspan="5">71</td><td>8. 5</td><td rowspan="4">8°</td><td rowspan="19">15°</td><td rowspan="19">10°</td><td rowspan="19">0′
~
30′</td><td rowspan="5">10</td></tr>
<tr><td>14</td><td>11</td></tr>
<tr><td>16</td><td>13</td></tr>
<tr><td>18</td><td>14. 5</td></tr>
<tr><td>20</td><td>+0. 21
0</td><td>15</td><td>15°</td></tr>
<tr><td rowspan="7">100</td><td rowspan="7">±1. 10</td><td>12</td><td rowspan="4">+0. 18
0</td><td rowspan="7">27</td><td rowspan="4">91</td><td>8. 5</td><td rowspan="4">8°</td><td rowspan="4">12</td></tr>
<tr><td>14</td><td>11</td></tr>
<tr><td>16</td><td>13</td></tr>
<tr><td>18</td><td>14. 5</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="3">+0. 21
0</td><td rowspan="3">86</td><td>15</td><td rowspan="3">15°</td><td rowspan="3">10</td></tr>
<tr><td>22</td><td>17</td></tr>
<tr><td>25</td><td>19. 5</td></tr>
<tr><td rowspan="7">125</td><td rowspan="7">±1. 25</td><td>12</td><td rowspan="4">+0. 18
0</td><td rowspan="7">32</td><td rowspan="7">+0. 025
0</td><td rowspan="4">114</td><td>9</td><td rowspan="4">8°</td><td rowspan="4">14</td></tr>
<tr><td>14</td><td>11</td></tr>
<tr><td>16</td><td>13</td></tr>
<tr><td>18</td><td>14. 5</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="3">+0. 21
0</td><td rowspan="3">111</td><td>15</td><td rowspan="2">15°</td><td rowspan="3">12</td></tr>
<tr><td>22</td><td>17</td></tr>
<tr><td>25</td><td>19. 5</td><td>8°</td></tr>
</table>

（续）

D		L		d		D_1	L_1	参考				
mm												
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 H12	基本尺寸	极限偏差 H7	mm		β	γ_o	α_n	κ_r'	齿数
160	±1.25	14	$^{+0.18}_{0}$	40	$^{+0.025}_{0}$	146	11	8°	15°	10°	0~30′	18
		16					13					
		20	$^{+0.21}_{0}$				15	15°				
		25				144	19.5					16
		28					22.5					
200	±1.45	14	$^{+0.18}_{0}$	50		186	10	8°				22
		18					13					20
		22	$^{+0.21}_{0}$				15.5	15°				
		28					22.5					18
		32	$^{+0.25}_{0}$			184	24					
250		16	$^{+0.18}_{0}$			236	11	8°				24
		20	$^{+0.21}_{0}$				14	15°				
		25					19.5					22
		28					22.5					
		32	$^{+0.25}_{0}$				24					
315	±1.60	20	$^{+0.21}_{0}$			301	14					26
		25					19					24
		32	$^{+0.25}_{0}$				24					
		36				297	27					
		40					28.5					

注：1. 镶齿三面刃铣刀的用途见表 2-21。
2. 镶齿三面刃铣刀的规格尺寸摘自 JB/T 7953—2010。

3. 角度铣刀的用途及规格尺寸

（1）单角铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-24）

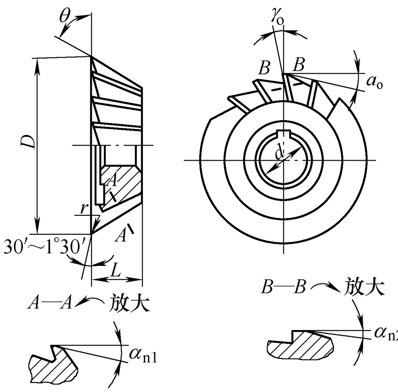
（2）对称双角铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-25）

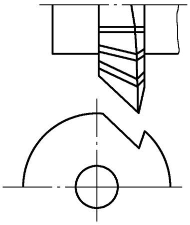
（3）不对称双角铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-26）

4. 螺钉槽铣刀的规格尺寸

螺钉槽铣刀的规格尺寸见表 2-27。

表 2-24 单角铣刀的用途及规格尺寸



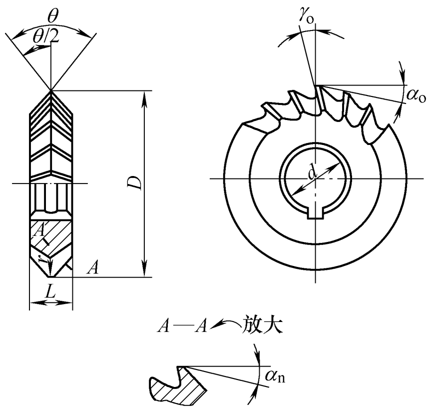


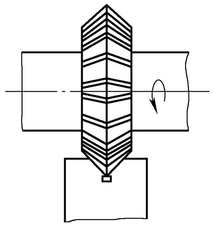
单角铣刀铣削圆盘形刀具的直齿槽

D /mm		θ		L		d		参考					
				mm									
基本尺寸	极限偏差 js16	基本角度	极限偏差	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 H7	r /mm	γ_o	α_o	α_{n1}	α_{n2}	齿数
40	±0.80	45°,50°,55°,60°	±20′	8	±0.45	13	$^{+0.018}_{0}$	0.5	10°	16°	10°	6°	18
		65°,70°,75°		10									
		80°,85°,90°											
50		45°,50°,55° 60°,65°,70°		13	±0.55	16		1					20
		75°,80°,85°,90°											
63	±0.95	18°		6	±0.375	22	$^{+0.021}_{0}$						
		22°		7	±0.45								
		25°		8									
		30°,40°		9									
		45°,50°,55°, 60°,65°,70°		16	±0.55								
		75°,80°,85°,90°		20	±0.65								
80		18°		10	±0.45			1.5					22
		22°		12	±0.55								
		25°		13									
		30°,40°		15									
		45°,50°,55° 60°,65°,70°		22	±0.65	27							
		75°,80°,85°,90°		24									
100	±1.10	18°		12	±0.55	32	$^{+0.025}_{0}$	2					24
		22°		14									
		25°		16									
		30°,40°		18									

注：单角铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 6128.1—2007。

表 2-25 对称双角铣刀的用途及规格尺寸



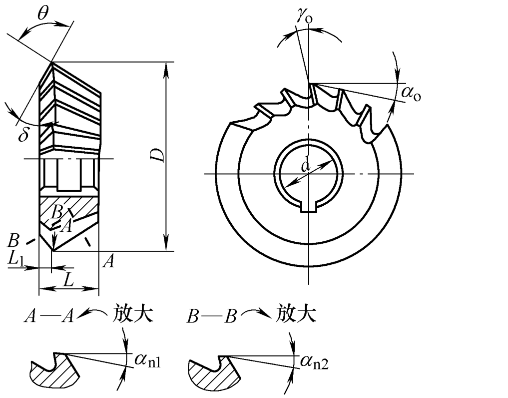


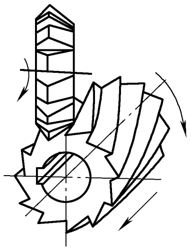
对称双角铣刀铣削各种 θ 角的 V 形槽，先用三面刃铣刀或锯片铣刀铣削直槽至要求深度

D /mm		θ		L (mm)		d (mm)		参考				
基本尺寸	极限偏差 js16	基本角度	半角极限偏差	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 H7	r /mm	γ_o	α_o	α_n	齿数
50	±0.80	45°	±15′	8	±0.45	16	+0.018 0	1	10°	16°	6°~10°	20
		60°		10								
		90°		14	±0.55							
63	±0.95	18°		5	±0.375	22	+0.021 0					
		22°		6								
		25°		7	±0.45							
		30°,40°		8								
		45°,50°		10								
		60°		14	±0.55							
		90°		20	±0.65							
80		18°		8	±0.45	27		1.5				22
		22°		10								
		25°		11	±0.55							
		30°		12								
		40°,45°		12								
		60°		18								
		90°		22	±0.65							
100	±1.10	18°		10	±0.45	32	+0.025 0	2.0				24
		22°		12	±0.55							
		25°		13								
		30°,40°		14								
		45°		18								
		60°		25	±0.65							
		90°		32	±0.8							

注：对称双角铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 6128.2—2007。

表 2-26 不对称双角铣刀的用途及规格尺寸





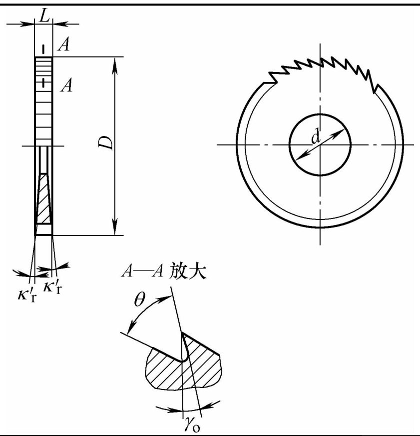
不对称双角铣刀铣削螺旋形刀具的刀齿槽

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">D
/mm</td><td colspan="2" rowspan="2">θ</td><td colspan="2" rowspan="2">δ</td><td colspan="2">L</td><td colspan="2">d</td><td colspan="7" rowspan="2">参考</td></tr>
<tr><td colspan="4">mm</td></tr>
<tr><td>基本尺寸</td><td>极限偏差 js16</td><td>基本角度</td><td>极限偏差</td><td>基本角度</td><td>极限偏差</td><td>基本尺寸</td><td>极限偏差 js16</td><td>基本尺寸</td><td>极限偏差 H7</td><td>L_1 /mm</td><td>r /mm</td><td>γ_o</td><td>α_o</td><td>α_{n1}</td><td>α_{n2}</td><td>齿数</td></tr>
<tr><td rowspan="9">50</td><td rowspan="9">±0.80</td><td>55°</td><td rowspan="27">±20′</td><td rowspan="7">15°</td><td rowspan="27">±30′</td><td rowspan="3">8</td><td rowspan="5">±0.45</td><td rowspan="9">16</td><td rowspan="9">+0.018
0</td><td rowspan="7">1.5</td><td rowspan="5">0.25</td><td rowspan="27">10°</td><td rowspan="27">16°</td><td rowspan="27">10°</td><td rowspan="27">6°</td><td rowspan="18">20</td></tr>
<tr><td>60°</td></tr>
<tr><td>65°</td></tr>
<tr><td>70°</td><td rowspan="2">10</td></tr>
<tr><td>75°</td></tr>
<tr><td>80°</td><td rowspan="2">13</td><td rowspan="4">±0.55</td><td rowspan="13">0.5</td></tr>
<tr><td>85°</td></tr>
<tr><td>90°</td><td>20°</td><td rowspan="2">16</td><td>2</td></tr>
<tr><td>100°</td><td>25°</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td rowspan="9">63</td><td rowspan="18">±0.95</td><td>55°</td><td rowspan="7">15°</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3">±0.45</td><td rowspan="9">22</td><td rowspan="18">+0.021
0</td><td rowspan="7">2</td></tr>
<tr><td>60°</td></tr>
<tr><td>65°</td></tr>
<tr><td>70°</td><td rowspan="2">13</td><td rowspan="10">±0.55</td></tr>
<tr><td>75°</td></tr>
<tr><td>80°</td><td rowspan="4">16</td></tr>
<tr><td>85°</td></tr>
<tr><td>90°</td><td>20°</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>100°</td><td>25°</td><td>3.5</td></tr>
<tr><td rowspan="9">80</td><td>50°</td><td rowspan="8">15°</td><td rowspan="2">13</td><td rowspan="9">27</td><td rowspan="8">3.2</td><td rowspan="3">1.0</td><td rowspan="9">22</td></tr>
<tr><td>55°</td></tr>
<tr><td>60°</td><td rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>65°</td><td>1</td></tr>
<tr><td>70°</td><td rowspan="3">20</td><td rowspan="5">±0.65</td><td rowspan="5">1.5</td></tr>
<tr><td>75°</td></tr>
<tr><td>80°</td></tr>
<tr><td>85°</td><td rowspan="2">24</td></tr>
<tr><td>90°</td><td>20°</td><td>4.5</td></tr>
</table>

（续）

D /mm		θ		δ		L		d		参考						
						mm										
基本尺寸	极限偏差 js16	基本角度	极限偏差	基本角度	极限偏差	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 H7	L_1 /mm	r /mm	γ_o	α_o	α_{n1}	α_{n2}	齿数
100	±1.10	50°	±20′	15°	±30′	20	±0.65	32	+0.025 0	4.5	1.5	10°	16°	10°	6°	24
		55°														
		60°				24										
		65°														
		70°				30										
		75°														
		80°														

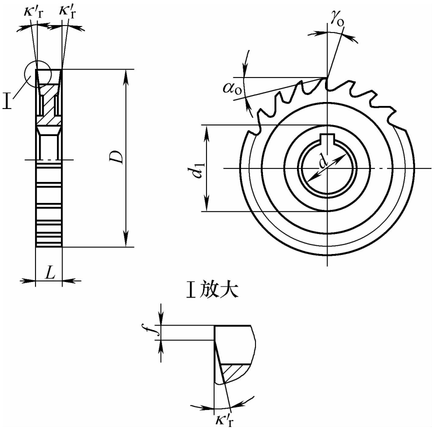
表 2-27　螺钉槽铣刀的规格尺寸（JB/T 8366—1996）



D		L			d		参考				
mm											
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 普通级	极限偏差 精密级	基本尺寸	极限偏差 H7	κ_r'	θ	γ_o	齿数 粗	齿数 细
60	±0.95	0.40	+0.15 +0.11	—	16	+0.018 0	5′~10′	50°~60°	5°	60	72
		0.50									
		0.60									
		0.80									
		1.00									
		1.20	+0.22 +0.17								
		1.60									
		2.00									
		2.50									
75		0.60	+0.15 +0.11		22	+0.021 0					
		0.80									
		1.00									
		1.20	+0.22 +0.17								
		1.60									
		2.00									
		2.50									
		3.00									
		4.00	+0.28 +0.22								
		5.00									

5. 尖齿槽铣刀的规格尺寸 尖齿槽铣刀的规格尺寸见表 2-28。

表 2-28 尖齿槽铣刀的规格尺寸（GB/T 1119.1—2002）

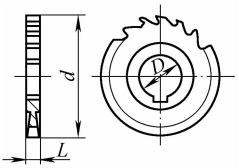


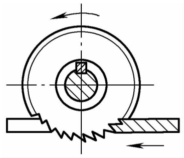
D 基本尺寸 (mm)	D 极限偏差 js16 (mm)	L 基本尺寸 (mm)	L 极限偏差 k8 (mm)	d 基本尺寸 (mm)	d 极限偏差 H7 (mm)	参考 d_{1min} (mm)	参考 f (mm)	参考 γ_o	参考 α_o	参考 κ_r'	参考 齿数
63	±0.95	4	+0.018 0	22	+0.021 0	—	0.51	15°	12°	1°	16
		5									
		6									
		7	+0.022 0			34					
		8									
		10									
		12	+0.027 0								
		14									
80		5	+0.018 0	27		41					18
		6									
		7	+0.022 0								
		8									
		10									
		12	+0.027 0								
		14									
		16									
		18									
100	±1.10	6	+0.018 0	32	+0.025 0	47	0.6~1.2				20
		7									
		8	+0.022 0								
		10									
		12	+0.027 0								
		14									
		16									
		18									
		20	+0.033 0								
		22									
		25									
125		8	+0.022 0								22
		10									
		12	+0.027 0								
		14									
		16									
		18									
		20	+0.033 0								
		22									
		25									

6. 锯片铣刀、切口铣刀与硬质合金锯片铣刀

(1) 高速钢锯片铣刀的用途及规格尺寸（见表2-29）

表2-29 锯片铣刀的用途及规格尺寸（GB/T 6120—1996）（单位：mm）





锯片铣刀切断板料或型材

主要参数

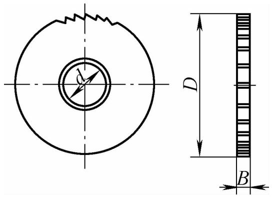
d（js16）	D（H7）	L（js11）	齿数 粗齿	齿数 中齿	齿数 细齿
32	8	0.2、0.25	—	—	100
		0.3、0.4、0.5		40	80
		0.6、0.8、1.0		32	64
		1.2、1.6、2		24	48
		2.5、3		20	40
40	10	0.2		—	128
		0.3、0.4		48	100
		0.5、0.6、0.8		40	80
		1、1.2、1.6		32	64
		2、2.5、3		24	48
		4		20	40
50	13	0.3		64	128
		0.4、0.5、0.6		48	100
		0.8、1、1.2	24	40	80
		1.6、2、2.5	20	32	64
		3、4、5	16	24	48
63	16	0.3、0.4、0.5	—	64	128
		0.8、1	32	48	100
		1.2、1.6、2	24	40	80
		2.5、3、4	20	32	60
		5、6	16	24	48
80	22	0.8	40	64	128
		1、1.2、1.6	32	48	100
		2、2.5、3	24	40	80
		4、5、6	20	32	64
100	22	0.6	—	—	160
		0.8、1、1.2	40	64	128
		1.6、2、2.5	32	48	100
		3、4、5	24	40	80
		6	20	32	64

（续）

<table>
<tr><th colspan="6">主要参数</th></tr>
<tr><th rowspan="2">d（js16）</th><th rowspan="2">D（H7）</th><th rowspan="2">L（js11）</th><th colspan="3">齿数</th></tr>
<tr><th>粗齿</th><th>中齿</th><th>细齿</th></tr>
<tr><td rowspan="4">125</td><td rowspan="4">22</td><td>1</td><td>48</td><td>80</td><td>160</td></tr>
<tr><td>1.2、1.6、2</td><td>40</td><td>64</td><td>128</td></tr>
<tr><td>2.5、3、4</td><td>32</td><td>48</td><td>100</td></tr>
<tr><td>5、6</td><td>24</td><td>40</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="3">160</td><td rowspan="3">32</td><td>1.2、1.6</td><td>48</td><td>80</td><td>160</td></tr>
<tr><td>2、2.5、3</td><td>40</td><td>64</td><td>128</td></tr>
<tr><td>4、5、6</td><td>32</td><td>48</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="3">200</td><td rowspan="3">32</td><td>1.6、2、2.5</td><td>48</td><td>80</td><td>160</td></tr>
<tr><td>3、4、5</td><td>40</td><td>64</td><td>128</td></tr>
<tr><td>6</td><td>32</td><td>48</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">32</td><td>2</td><td>64</td><td>100</td><td>200</td></tr>
<tr><td>2.5、3、4</td><td>48</td><td>80</td><td>160</td></tr>
<tr><td>5、6</td><td>40</td><td>64</td><td>128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">315</td><td rowspan="2">40</td><td>2.5、3</td><td>64</td><td>100</td><td>200</td></tr>
<tr><td>4、5、6</td><td>48</td><td>80</td><td>160</td></tr>
</table>

（2）切口铣刀的规格尺寸（见表2-30）

表2-30 切口铣刀的规格尺寸 （单位：mm）



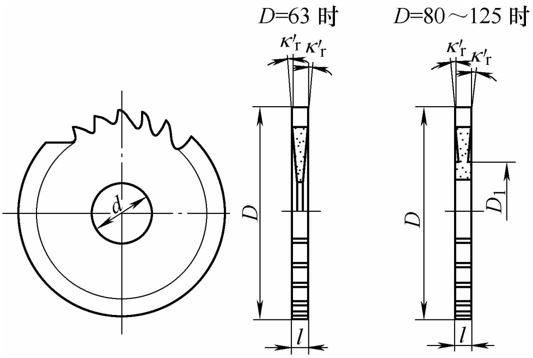
<table>
<tr><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">B</th><th rowspan="2">d</th><th colspan="2">齿 数</th></tr>
<tr><th>粗</th><th>细</th></tr>
<tr><td rowspan="3">40</td><td rowspan="3">0.3
0.4
0.5
0.6
0.8</td><td rowspan="3">13</td><td>56</td><td>90</td></tr>
<tr><td>50</td><td>80</td></tr>
<tr><td>44</td><td>72</td></tr>
<tr><td>50</td><td>0.4
0.5
0.6</td><td>16</td><td>56</td><td>90</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">B</th><th rowspan="2">d</th><th colspan="2">齿 数</th></tr>
<tr><th>粗</th><th>细</th></tr>
<tr><td>50</td><td>1.8
1</td><td rowspan="4">16</td><td>50</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="3">63</td><td rowspan="3">0.8
1
1.2
1.5
2</td><td>56</td><td>90</td></tr>
<tr><td>50</td><td>80</td></tr>
<tr><td>44</td><td>72</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">B</th><th rowspan="2">d</th><th colspan="2">齿 数</th></tr>
<tr><th>粗</th><th>细</th></tr>
<tr><td rowspan="4">80</td><td rowspan="4">1.2
1.5
2
2.5
3
4
5</td><td rowspan="4">22</td><td>56</td><td>90</td></tr>
<tr><td>50</td><td>80</td></tr>
<tr><td>44</td><td>72</td></tr>
<tr><td>40</td><td>64</td></tr>
</table>

（3）整体硬质合金锯片铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-31）

表 2-31 整体硬质合金锯片铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



D（js13）	l（js10）	d（H7）	参考值								
			γ_o	α_o	D_1	h	$r\leq$	g	θ	κ_r'	齿数
63	0.30、0.40	16	0°～5°	11°13°	—	3.0	0.5	—	50°	0°15′	36
	0.50									0°25′	
	0.60									0°35′	
	0.80、1.00、1.20									0°50′	
	1.60、2.00、2.50、3.00、4.00									1°05′	
80	0.60	22			34		0.3		45°	0°30′	36
	0.80									0°50′	
	1.00、1.20、1.60、2.00、2.50、3.00、4.00									1°05′	36
	5.00									1°30′	
100	0.80、1.00、1.20、1.60					3.5				0°50′	48
	2.00、2.50、3.00、4.00									1°05′	
	5.00									1°30′	
125	1.00、1.20					4				0°50′	56
	1.60、2.00、2.50、3.00、4.00									1°50′	
	5.00									1°30′	

注：1. 整体硬质合金铣刀的用途是切断板料或型材。

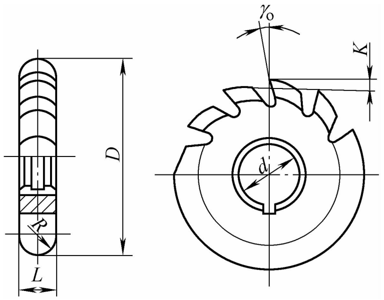
2. 整体硬质合金铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 14301—2008。

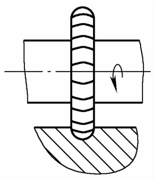
7. 铲背成形铣刀的用途及规格尺寸

（1）凸半圆铣刀的用途及规格尺寸（见表2-32）

（2）凹半圆铣刀的用途及规格尺寸（见表2-33）

表2-32　凸半圆铣刀的用途及规格尺寸



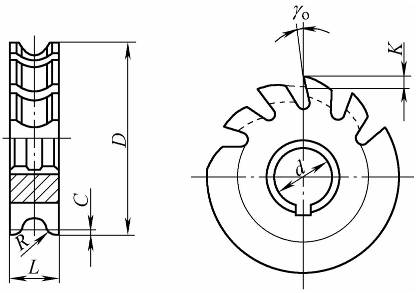


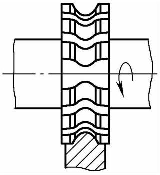
凸半圆铣刀铣削各种半径的凹形面或半圆槽

R		D		d		L		参考		
mm										
基本尺寸	极限偏差 k11	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 H7	基本尺寸	极限偏差	γ_o	K /mm	齿数
1	+0.060 0	50	±0.80	16	±0.018 0	2	0 -0.1	5°	2	14
1.25						2.5				
1.6						3.2				
2						4				
2.5		63	±0.95	22	+0.021 0	5			3	12
3	+0.075 0					6				
4						8				
5						10				
6	+0.090 0	80		27		12			4.5	10
8						16				
10		100	±1.10	32	+0.025 0	20			5.5	
12	+0.010 0					24				
16		125	±1.25			32			7	
20	+0.130 0					40				

注：凸半圆铣刀的规格尺寸摘自GB/T 1124.1—2007。

表 2-33 凹半圆铣刀的用途及规格尺寸





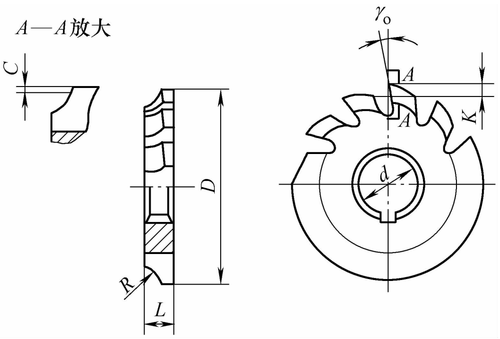
凹半圆铣刀铣削各种半径的凸半圆成形面

R 基本尺寸 (mm)	R 极限偏差 N11	D 基本尺寸 (mm)	D 极限偏差 js16	d 基本尺寸 (mm)	d 极限偏差 H7	L 基本尺寸 (mm)	L 极限偏差 js16	C /mm	参考 γo	参考 K /mm	参考 齿数
1	0 −0.06	50	±0.80	16	+0.018 0	6	±0.375	0.2	5°	2	14
1.25											
1.6						8	±0.45	0.25			
2						9					
2.5		63	±0.95	22	+0.021 0	10		0.3		3	12
3	0 −0.075					12	±0.55				
4						16		0.4			
5						20	±0.65	0.5			
6	0 −0.09	80		27		24		0.6		4.5	10
8						32	±0.80	0.8			
10		100	±1.10	32	+0.025 0	36		1.0		5.5	
12	0 −0.11					40		1.2			
16		125	±1.25			50		1.6		7	
20	0 −0.13					60	±0.95	2.0			

注：凹半圆铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 1124.1—2007。

（3）圆角铣刀的规格尺寸（见表2-34）

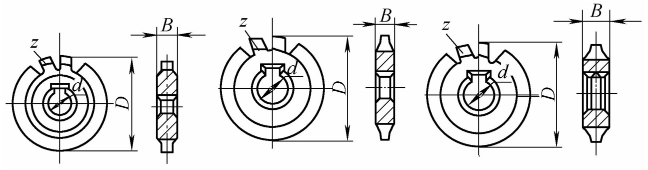
表2-34 圆角铣刀的规格尺寸（GB/T 6122.1—2002）



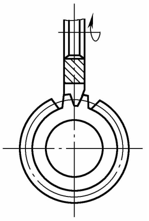
<table>
<tr><th colspan="2">R</th><th colspan="2">D</th><th colspan="2">d</th><th colspan="2">L</th><th rowspan="3">C
/mm</th><th colspan="3" rowspan="2">参 考</th></tr>
<tr><th colspan="8">mm</th></tr>
<tr><th>基本尺寸</th><th>极限偏差
N11</th><th>基本尺寸</th><th>极限偏差
js16</th><th>基本尺寸</th><th>极限偏差
H7</th><th>基本尺寸</th><th>极限偏差
js16</th><th>γ_o</th><th>K
/mm</th><th>齿数</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="5">0
-0.06</td><td rowspan="4">50</td><td rowspan="4">±0.80</td><td rowspan="4">16</td><td rowspan="4">+0.018
0</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="6">±0.375</td><td rowspan="2">0.2</td><td rowspan="14">5°</td><td rowspan="4">2</td><td rowspan="3">14</td></tr>
<tr><td>1.25</td></tr>
<tr><td>1.6</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="2">0.25</td></tr>
<tr><td>2</td><td rowspan="5">12</td></tr>
<tr><td>2.25</td><td rowspan="4">63</td><td rowspan="6">±0.95</td><td rowspan="4">22</td><td rowspan="6">+0.021
0</td><td rowspan="2">0.3</td><td rowspan="5">3</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="3">0
-0.075</td><td>6</td></tr>
<tr><td>4</td><td>8</td><td rowspan="2">±0.45</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>5</td><td>10</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>6</td><td rowspan="3">0
-0.09</td><td rowspan="2">80</td><td rowspan="2">27</td><td>12</td><td rowspan="3">±0.55</td><td>0.6</td><td rowspan="6">10</td></tr>
<tr><td>8</td><td>16</td><td>0.8</td><td rowspan="2">4.5</td></tr>
<tr><td>10</td><td rowspan="2">100</td><td rowspan="2">±1.10</td><td rowspan="4">32</td><td rowspan="4">+0.025
0</td><td>18</td><td>1.0</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="2">0
-0.11</td><td>20</td><td rowspan="3">±0.65</td><td>1.2</td><td>5.5</td></tr>
<tr><td>16</td><td rowspan="2">125</td><td rowspan="2">±1.25</td><td>24</td><td>1.6</td><td rowspan="2">7</td></tr>
<tr><td>20</td><td>0
-0.13</td><td>28</td><td>2.0</td></tr>
</table>

（4）盘形齿轮铣刀的用途及规格尺寸（见表2-35）

表2-35 盘形齿轮铣刀的用途及规格尺寸



m=0.3～0.9　　m=1～6.5　　m=7～16



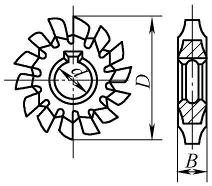
成形齿轮铣刀铣削直齿圆柱齿轮和斜齿圆柱齿轮

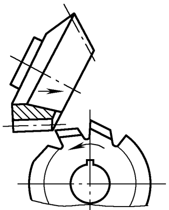
模数系列/mm 1	模数系列/mm 2	D/mm	d/mm	B/mm 铣刀号 1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8	齿数 z	铣切深度/mm
0.30		40	16	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	—	4	20	0.66
	0.35																			0.77
0.40																				0.88
0.50																			18	1.10
0.60																				1.32
	0.70																		16	1.54
0.80																				1.76
	0.90																			1.98
1.00		50	22																14	2.20
1.25				4.8		4.6		4.4		4.2		4.1		4.0		4.0		4.0		2.75
1.50		55		5.6		5.4		5.2		5.1		4.9		4.7		4.5		4.2		3.30
	1.75	60		6.5		6.3		6.0		5.8		5.6		5.4		5.2		4.9	12	3.85
2.00				7.3		7.1		6.8		6.6		6.3		6.1		5.9		5.5		4.40
	2.25			8.2		7.9		7.6		7.3		7.1		6.8		6.5		6.1		4.95
2.50		65		9.0		8.7		8.4		8.1		7.8		7.5		7.2		6.8		5.50
	2.75	70	27	9.9		9.6		9.2		8.8		8.5		8.2		7.9		7.4		6.05
3.00				10.7		10.4		10.0		9.6		9.2		8.9		8.5		8.1		6.60
	3.25	75		11.5		11.2		10.7		10.3		9.9		9.6		9.3		8.8		7.15
	3.50			12.4		12.0		11.5		11.1		10.7		10.3		9.9		9.4		7.70
	3.75	80		13.3		12.8		12.3		11.9		11.4		11.0		10.5		10.0		8.25
4.00				14.1		13.7		13.1		12.6		12.2		11.7		11.2		10.7		8.80
	4.50			15.3		14.9		14.4		13.9		13.6		13.1		12.6		12.0		9.90
5.00		90	32	16.8		16.3		15.8		15.4		14.9		14.5		13.9		13.2	11	11.00
	5.50	95		18.4		17.9		17.3		16.7		16.3		15.8		15.3		14.5		12.10
6.00		100		19.9		19.4		18.8		18.1		17.6		17.1		16.4		15.7		13.20
	6.50	105		21.4		20.8		20.2		19.4		19.0		18.4		17.8		17.0		14.30
	7.00			22.9		22.3		21.6		20.9		20.3		19.7		19.0		18.2		15.40
8.00		110		26.1		25.3		24.4		23.7		23.0		22.3		21.5		20.7		17.60
	9.00	115		29.2	28.7	28.3	28.1	27.6	27.0	26.6	26.1	25.9	25.4	25.1	24.7	24.3	23.9	23.3		19.80
10		120	40	32.2	31.7	31.2	31.0	30.4	29.8	29.3	28.7	28.5	28.0	27.6	27.2	26.7	26.3	25.7	10	22.00
	11	135		35.3	34.8	34.3	34.0	33.3	32.7	32.1	31.5	31.3	30.7	30.3	29.9	29.3	28.9	28.2		24.20
12		145		38.3	37.7	37.2	36.9	36.1	35.5	35.0	34.3	34.0	33.4	33.0	32.4	31.7	31.3	30.6		26.40
	14	160		44.7	44.0	43.4	43.0	42.1	41.3	40.6	39.8	39.5	38.8	38.4	37.7	37.0	36.3	35.5		30.80
16		170		50.7	49.9	49.3	48.7	47.8	46.8	46.1	45.1	44.8	44.0	43.5	42.8	41.9	41.3	40.3		35.20

注：盘形齿轮铣刀的规格尺寸摘自JB/T 7970.1—1999。

（5）盘形锥齿轮铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-36）

表 2-36 格形锥齿轮铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



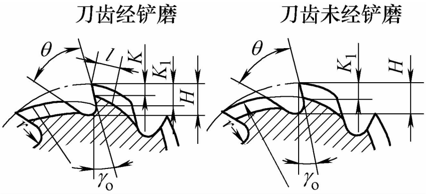


盘形锥齿轮铣刀铣削直齿锥齿轮

模数 m	基本尺寸			模数 m	基本尺寸		
	D	B	d		D	B	d
0.3	40	4	16	3.25	75	11.5	27
0.35	40	4	16	3.5	75	12.4	27
0.4	40	4	16	3.75	80	13.3	27
0.5	40	4	16	4	80	14.1	27
0.6	40	4	16	4.5	80	15.3	27
0.7	40	4	16	5	90	16.8	32
0.8	40	4	16	5.5	95	18.4	32
0.9	40	4	16	6	100	19.9	32
1	40	4	16	6.5	105	21.4	32
1.25	50	4.8	22	7	105	22.9	32
1.5	55	5.6	22	8	110	26.1	32
1.75	60	6.5	22	9	115	29.2	32
2	60	7.3	22	10	120	31.7	32
2.25	60	8.2	22	11	135	35.3	40
2.5	65	9.0	22	12	145	38.3	40
2.75	70	9.9	27	14	160	44.7	40
3	70	10.7	27	16	170	50.7	40

（6）梯形螺纹铣刀的几何参数（见表 2-37）

表 2-37 梯形螺纹铣刀的几何参数 （单位：mm）



（续）

铣刀直径 d_0	K	K_1	l	H	齿数 z	θ	r	γ_o
10	1.00	1.25	—	2.5	6	45°	0.75	加工硬钢为 0°～4°；加工中、软钢及黄铜为 8°；加工铝及轻合金为 22°
12	1.00	1.50	—	2.5				
15	1.25	2.00	—	3.0			1.00	
18	1.50	2.00	3.5	3.5				
20	1.50	2.50	3.5	4.0			1.50	
25	1.50	2.50	3.5	4.5	8			
30	2.00	2.50	4.0	4.5				
35	2.00	2.50	4.0	5.5	10	30°	2.00	
40	2.00	3.00	4.0	5.5				
45	2.00	3.00	4.0	6.0	12			
55	2.50	3.50	5.0	7.0				
65	2.50	3.50	5.0	7.0	14		2.50	
80	3.00	4.00	6.0	8.0	16		3.00	
90	3.00	4.00	6.0	8.0				

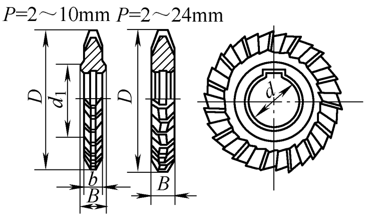
注：1. 齿顶后角由 K、K_1 形成，通常为 8°～12°；侧后角 α_{px} 和顶后角 α_{pa} 关系为：$\tan\alpha_{px} = \tan\alpha_{pa}\sin\frac{\tau}{2}$（$\tau$—螺纹廓形角）。

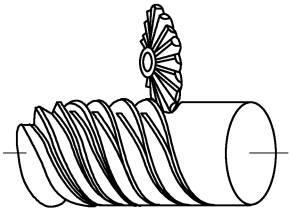
2. 本表中齿数 z 是刀齿经铲磨的，如刀齿未铲磨时，可按下列数据选取：d_0 = 45～55mm 时，z = 14；d_0 = 65mm 时，z = 18；d_0 = 80～90mm 时，z = 20。

3. 铣刀直径是 10mm、12mm、15mm 时，刀齿只经一次铲背。

（7）加工梯形螺纹盘形螺纹铣刀的结构尺寸（见表 2-38）

表 2-38 加工梯形螺纹盘形螺纹铣刀的结构尺寸 （单位：mm）



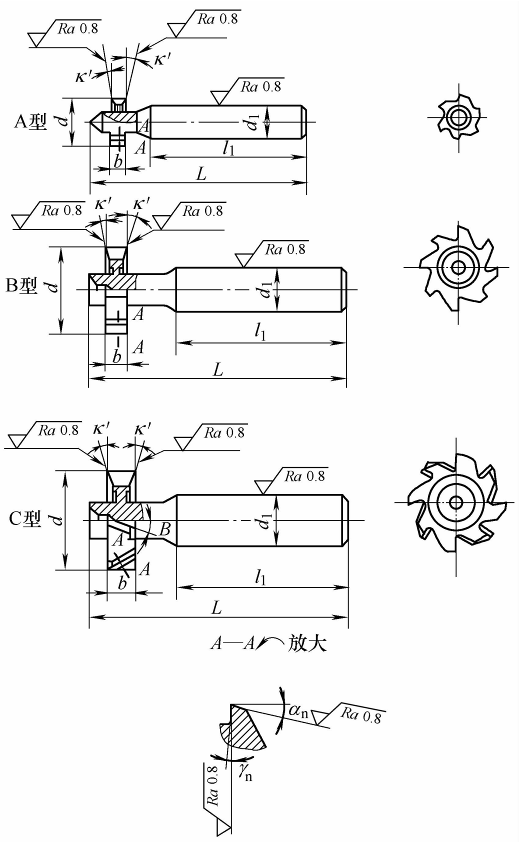


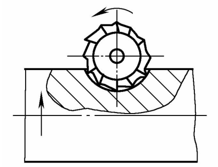
螺距 P	D	b	B	d	d_1	背吃刀量
2	80	3	5	22	40	1.25
3						1.75
4		4	6			2.25
5		5	8			3.0
6		6				3.5
8		8	10			4.5
10		10	12			5.5
12		—			—	6.5
16	100		14	27		9.0
20			16			11
24			18			13

8. 键槽铣刀的用途及规格尺寸

（1）半圆键槽铣刀的用途及规格尺寸（见表2-39）

表2-39 半圆键槽铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）





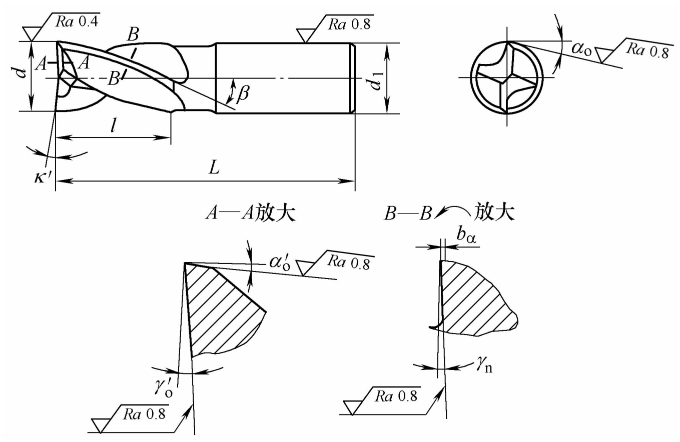
半圆键槽铣刀铣削半圆键槽

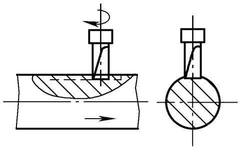
键的基本尺寸（宽×直径）	d 基本尺寸	d 极限偏差	b 基本尺寸	b 极限偏差	L 基本尺寸	L 极限偏差	d_1 基本尺寸	d_1 极限偏差	l_1	铣刀形式	β（供参考）	γ_n（供参考）	α_n（供参考）	κ′（最小）（供参考）	齿数（供参考）
1×4	4.25	0 -0.075	1	-0.014 -0.028	50	0 -1.60	6	0 -0.018	36	Ⅰ	0°	5°	15°	15′	6
1.5×7	7.40	0 -0.09	1.5												
2×7			2												
2×10	10.60	0 -0.11													
2.5×10			2.5												
3×13	13.80		3		55	0 -1.90	10	0 -0.022	40	Ⅱ					
3×16	16.9													20′	8
4×16			4	-0.020 -0.038								10°			
5×16			5												
4×19	20.10	0 -0.13	4												
5×19			5												
5×22	23.20				60		12	0 -0.027			12°				
6×22			6							Ⅲ					
6×25	26.50														
8×28	29.70		8	-0.025 -0.047	65				45						
10×32	33.90	0 -0.16	10											30′	10

注：半圆键槽铣刀的规格尺寸摘自GB/T 1127—2007。

（2）直柄键槽铣刀的用途及规格尺寸（见表2-40）

表2-40 直柄键槽铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）





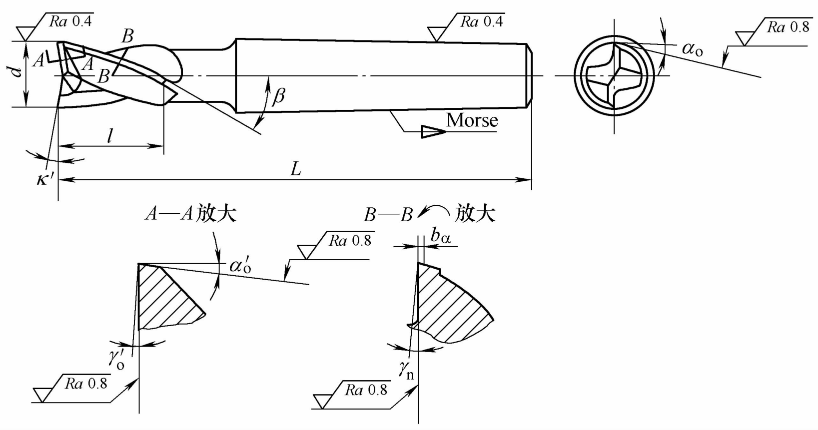
键槽铣刀铣削各种键槽，先在任一端钻一个直径略小于键宽的孔

d 公称尺寸	d 极限偏差 e8公差带	d 极限偏差 d8公差带	L 公称尺寸	L 极限偏差	l 公称尺寸	l 极限偏差	d_1 公称尺寸	d_1 极限偏差	β	γ_o'	γ_n	α_o'	α_o	κ'	b_α
									供参考						
2	−0.014 −0.028	−0.020 −0.034	30	0 −1.30	4	0 −0.75	3 / 4	0 −0.014 / 0 −0.018	20°	5°	6°	12°	18°	1°30′	0.10
3			32		5	0 −0.90									
4	−0.020 −0.038	−0.030 −0.048	36	0 −1.60	7		4	0 −0.018					16°		
5			40		8		5								
6			45		10		6								
8	−0.025 −0.047	−0.040 −0.062	50		14	0 −1.10	8	0 −0.022		10°	8°	14°	14°	2°	0.10
10			60	0 −1.90	18		10								
12	−0.032 −0.059	−0.050 −0.077	65		22	0 −1.30	12	0 −0.027							
14			70		24		14 / 12								
16			75		28		16								
18			80		32	0 −1.60	18 / 16								
20	−0.040 −0.073	−0.065 −0.098	85	0 −2.20	36		20	0 −0.033							0.15

注：直柄键槽铣刀的规格尺寸摘自GB/T 1112.1—1997。

（3）莫氏锥柄键槽铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-41）

表 2-41　莫氏锥柄键槽铣刀的用途及规格尺寸



d/mm 公称尺寸	d/mm 极限偏差 e8 公差带	d/mm 极限偏差 d8 公差带	L/mm 公称尺寸	L/mm 极限偏差	l/mm 公称尺寸	l/mm 极限偏差	莫氏锥度号	β（供参考）	γ_o'（供参考）	γ_n（供参考）	α_o'（供参考）	α_o（供参考）	κ'（供参考）	h_α/mm（供参考）
14	-0. 032 -0. 059	-0. 050 -0. 077	110	0 -2. 20	24	0 -1. 30	2	20°	10°	8°	14°	14°	2°	0. 10
16			115		28									
18			120		32	0 -1. 60								
20	-0. 040 -0. 073	-0. 065 -0. 098	125	0 -2. 50	36									0. 15
22														
25			145		40		3					12°		
28			150		45									
32	-0. 050 -0. 089	-0. 080 -0. 119	155		50									
36			185	0 -2. 90	55	0 -1. 90	4							
40			190		60									
45			195		65									
50														

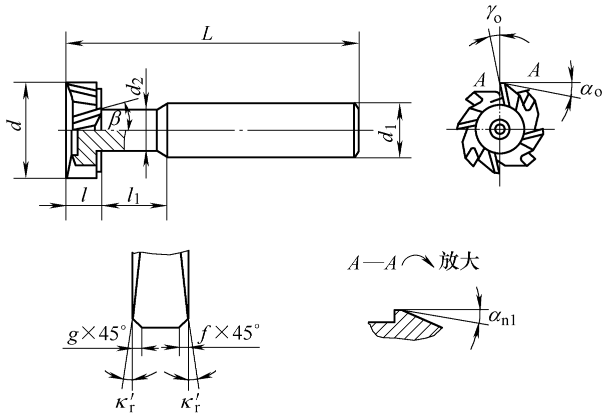
注：1. 莫氏锥柄键槽铣刀的用途和直柄键槽铣刀相同。

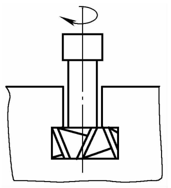
2. 莫氏锥柄键槽铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 1112. 2—1997。

9. T 形槽铣刀的用途及规格尺寸

（1）直柄 T 形槽铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-42）

表 2-42 直柄 T 形槽铣刀的用途及规格尺寸





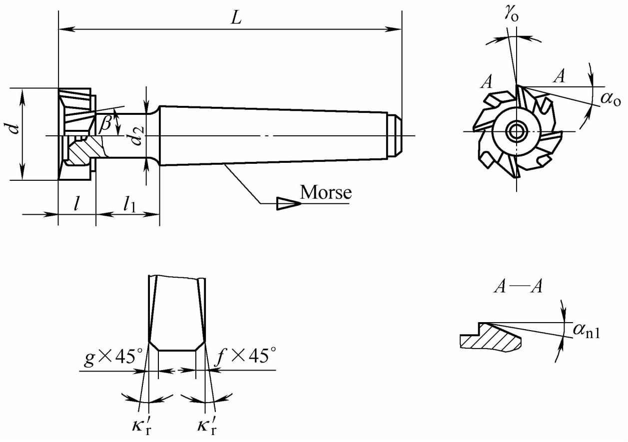
T 形槽铣刀铣削各种 T 形槽，先用立铣刀或三面刃铣刀铣垂直槽至全槽深

T形槽基本尺寸 /mm	d 基本尺寸	d 极限偏差 h12	l 基本尺寸	l 极限偏差 h12	L 基本尺寸	L 极限偏差 js16	d_1 基本尺寸	d_1 极限偏差 h8	d_2 max	l_1 min	f max	g min	参考 β	参考 γ_o	参考 α_v	参考 α_{n1}	参考 κ_r'	参考 齿数
	/mm								mm									
5	11	0 -0.180	3.5	0 -0.120	53.5	±0.95	10	0 -0.022	4	10	0.6	1	10°	10°	14°	8°	1°30′	4
6	12.5		6		57				5	11								
8	16		8	0 -0.150	62				7	14								
10	18				70		12	0 -0.027	8	17								6
12	21	0 -0.210	9		74				10	20								
14	25		11	0 -0.180	82	±1.10	16		12	23		1.6						
(16)	29		12.5		85				13	24.5	1							
18	32	0 -0.250	14		90				15	28								
(20)	36		15.5		101		25	0 -0.033	17	29.5		2.5						8
22	40		18		108				19	34								
(24)	45		20	0 -0.210	112				21	36								
28	50		22		124	±1.25	32	0 -0.039	25	42								10
(32)	57	0 -0.30	24		131				28	47								
36	60		28		139				30	51								

注：1. 直柄 T 形槽铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 6124—2007。
2. 括号内的尺寸尽量不采用。
3. 直柄 T 形槽铣刀还有削平直柄和带螺纹直柄两种。

（2）莫氏锥柄T形槽铣刀的用途及规格尺寸（见表2-43）

表2-43 莫氏锥柄T形槽铣刀的用途及规格尺寸



T形槽基本尺寸/mm	d		l		L		d_2 max	l_1 min	f max	g min	莫氏锥度号	参考					
	mm						mm										
	基本尺寸	极限偏差 h12	基本尺寸	极限偏差 h12	基本尺寸	极限偏差 js6						β	γ_o	α_o	a_{n1}	κ_r'	齿数
10	18	0 -0.180	8	0 -0.150	82	±1.10	8	17	0.6	1	1	10°	10°	14°	8°	1°30′	6
12	20	0 -0.210	9		98		10	20			2						
14	25		11	0 -0.180	103		12	23									
(16)	29		12.5		105		13	24.5		1.6							
18	32	0 -0.250	14		111		15	28	1								
(20)	36		15.5		130	±1.25	17	29.5			3						8
22	40		18		138		19	34		2.5							
(24)	45		20	0 -0.210	140		21	36									
28	50		22		173		25	42			4						10
32	57	0 -0.300	24		180		28	47									
36	60		28		188	±1.45	30	51									
42	72		35	0 -0.250	229		36	58	1.6	4	5						
48	85	0 -0.350	40		240		42	64	2	6							12
54	95		44		251	±1.60	44	71									

注：1. 莫氏锥柄T形槽铣刀的用途见表2-40。

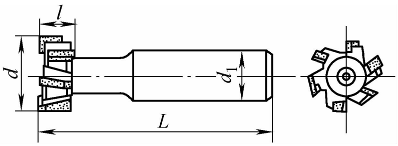
2. 莫氏锥柄T形槽铣刀的规格尺寸摘自GB/T 6124—2007。

3. 括号内的尺寸尽量不采用。

（3）硬质合金T形槽铣刀 硬质合金T形槽铣刀有直柄和莫氏锥柄两种，用于高速铣削T形槽或铣削高硬度的金属工件。硬质合金T形槽铣刀的外形及规格尺寸见表2-44。

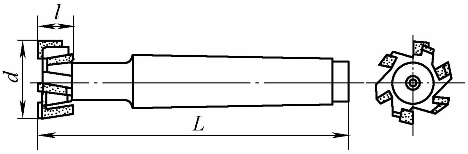
表2-44 硬质合金T形槽铣刀的外形及规格尺寸（GB/T 10948—2006）

（1）硬质合金直柄T形槽铣刀



T形槽宽度/mm	刀头直径 d/mm	刀头宽度 l/mm	全长 L/mm	柄部直径 d_1/mm	齿数	硬质合金刀片型号
12	21	9	74	12	4	A106
14	25	11	82	16	6	D208
18	32	14	90	16	6	D212
22	40	18	108	25	6	D214
28	50	22	124	32	6	D218A
36	60	28	189	32	8	D220

（2）硬质合金锥柄T形槽铣刀

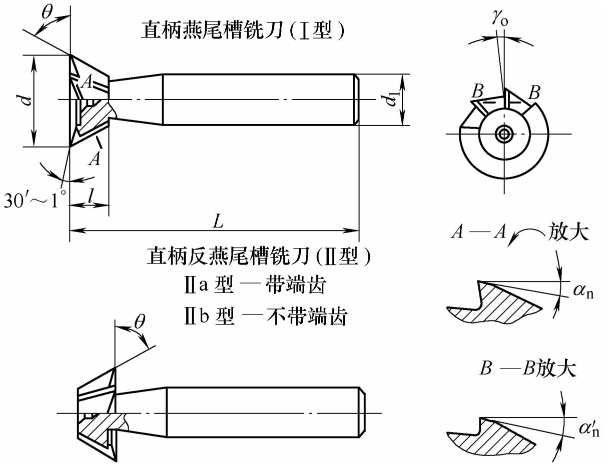


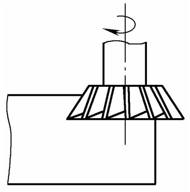
T形槽宽度/mm	刀头直径 d/mm	刀头宽度 l/mm	全长 L/mm	齿数	莫氏锥度号	硬质合金刀片型号
12	21	9	100	4	2	A106
14	25	11	105	6	2	D208
18	32	14	110	6	2	D212
22	40	18	140	6	3	D214
28	50	22	175	6	4	D218A
36	60	28	190	8	4	D220
42	72	35	230	8	5	D228A
48	85	40	240	8	5	D236
54	95	44	250	8	5	D236

10. 直柄燕尾槽、反燕尾槽铣刀的用途及规格尺寸

直柄燕尾槽、反燕尾槽铣刀的用途及规格尺寸见表 2-45。

表 2-45 直柄燕尾槽、反燕尾槽铣刀的用途及规格尺寸 (GB/T 6338—2004)





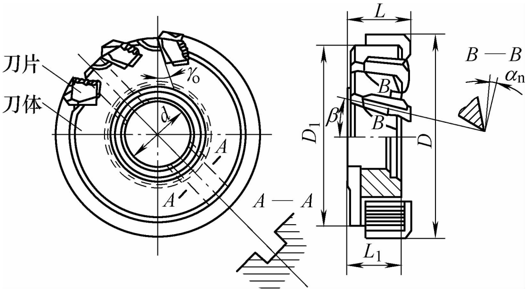
燕尾槽铣刀铣削燕尾槽

d 基本尺寸	d 极限偏差 js16	θ 基本角度	θ 极限偏差	l 基本尺寸	l 极限偏差 js16	L 基本尺寸	L 极限偏差 js16	d_1 基本尺寸	d_1 极限偏差 h8	型式	参考 γ_o	参考 α_n	参考 α'_n	参考 齿数
mm														
16	±0.55	45°	±30′	4	±0.375	60	±0.95	12	0 -0.027	Ⅰ和Ⅱ	0°~3°	10°	5°	6~8
20	±0.65			5		63								8~10
25				6.3	±0.45	67								10~12
32	±0.80			8		71		16						12~14
16	±0.55	50°		5	±0.375	60		12		Ⅰ				6~8
20	±0.65			6.3	±0.45	63								8~10
25				8		67								10~12
32	±0.80			10		71		16						12~14
16	±0.55	55°		6.3	±0.45	60		12						6~8
20	±0.65			8		63								8~10
25				10		67								10~12
32	±0.80			12.5	±0.55	71		16						12~14
16	0.55	60°		6.3	±0.45	60		12		Ⅰ和Ⅱ				6~8
20	±0.65			8		63								8~10
25				10		67								10~12
32	±0.80			12.5	±0.55	71		16						12~14

11. 套式铣刀

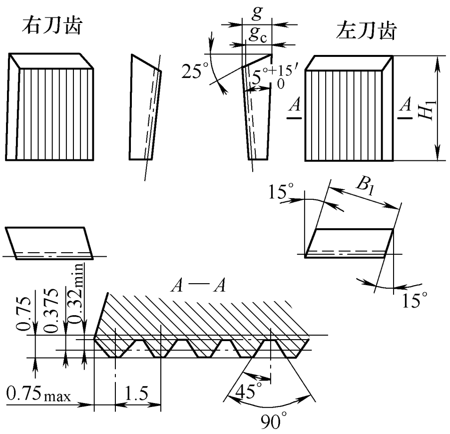
直角套式面铣刀的规格见表2-46，直角套式面铣刀刀齿的规格见表2-47。

表2-46 直角套式面铣刀的规格（JB/T 7954—1999）



D 基本尺寸 (mm)	D 极限偏差 js16	L 基本尺寸	L 极限偏差 js16	d 基本尺寸	d 极限偏差 H7	D_1 (mm)	L_1 (mm)	参考 β	参考 γ_o	参考 α_n	参考 齿数
80	±0.95	36	±0.8	27	$^{+0.021}_{0}$	70	30	10°	15°	12°	10
100	±1.10	40		32	$^{+0.025}_{0}$	90	34				
125	±1.25			40		115					14
160		45		50		150	37				16
200	±1.45					186					20
250						236					26

表2-47 直角套式面铣刀刀齿的规格（JB/T 7955—1999）（单位：mm）



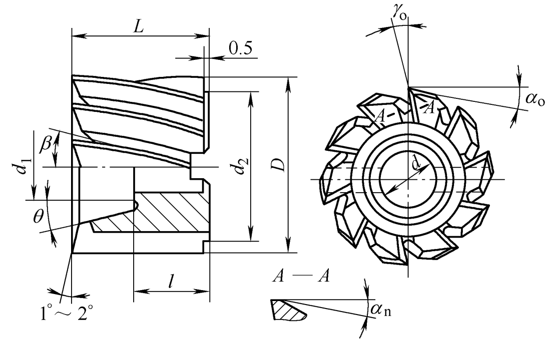
（续）

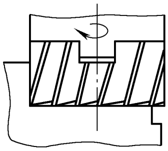
刀齿代号		刀齿尺寸								刀齿用途		
		H_1		B_1		g		g_c		三面刃铣刀		套式面铣刀外径
右刀齿	左刀齿	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	外径	宽度	
1-10-1	1-10-2	16.8	±0.2	10	±0.3	5.26	0 −0.1	4.94	0 −0.07	80，100	12	—
1-13-1	1-13-2			13							14	
1-15-1	1-15-2			15		5.23		4.91			16，18	
1-18.5-1	1-18.5-2			18.5							20，22	
1-22.5-1	1-22.5-2			22.5						100	25	
2-11-1	2-11-2	23.8		11		6.87		6.55		125	12	
2-13-1	2-13-2			13						125，160，200	14	
2-15-1	2-15-2			15		6.84		6.52		125，160	16，18	
3-15-1	3-15-2	28.3				8.27		7.95		160，200，250	16，18	80
3-18.5-1	3-18.5-2			18.5		8.22		7.92		125，160，200，250，315	20，22	100
3-22.5-1	3-22.5-2			22.5						160，200，250，315	25	125
3-26.5-1	3-26.5-2			26.5 28.5							28，32	—
3-28.5-1	3-28.5-2	33.8		28.5						250，315	32，36	
4-25.5-1	4-25.5-2			25.5		10.72		10.40		—	—	160，200
4-32.5-1	4-32.5-2			32.5						315	40	250

12. 立铣刀的用途及规格尺寸

（1）套式立铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-48）

表 2-48 套式立铣刀的用途及规格尺寸





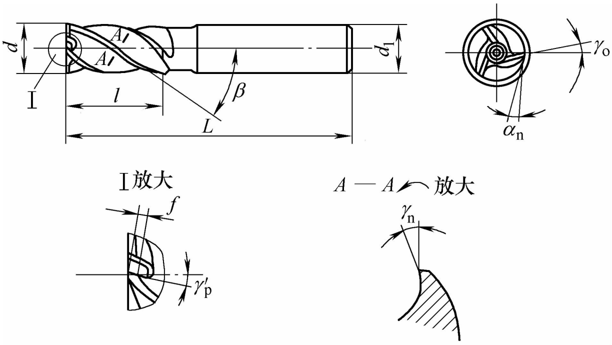
套式立铣刀铣削阶台平面

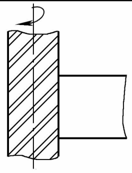
D		L		l		d		参考							
mm															
基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差 H7	d_{1min}	d_{2min}	θ	γ_o	α_o	α_n	β	齿数
								min							
40	±0.80	32	+1.6 0	18	+1 0	16	+0.018 0	23	33	—	10°～15°	8°～12°	5°～8°	15°～25°	6～8
50		36		20		22	+0.021 0	30	41						
63	±0.95	40		22		27		38	49						8～10
80		45								5°					
100	±1.10	50		25		32	+0.025 0	45	59						10～12
125	±1.25	56	+1.9 0	28		40		56	71	10°					12～14
160		63		31		50		67	91						14～16

注：套式立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 1114.1—1998。

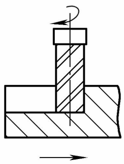
（2）直柄立铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-49）

表 2-49 直柄立铣刀的用途及规格尺寸

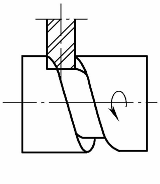




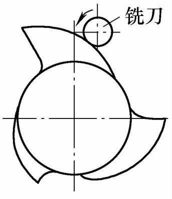
立铣刀铣削侧面（或凸台平面）



立铣刀铣削一端不通的槽



立铣刀铣削圆柱上各种螺旋槽



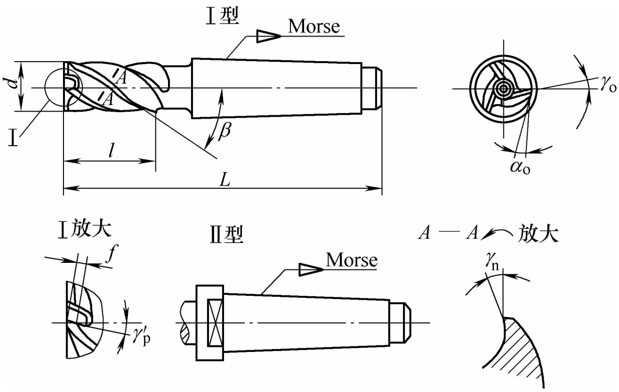
立铣刀铣削平板凸轮、圆柱凸轮

d		d_1		*L*				*l*				参考								
mm																				
				标准型		长型		标准型		长型								齿数		
基本尺寸	极限偏差 js14	基本尺寸	极限偏差 h8	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 js16	基本尺寸	极限偏差 js16	β	γ_n	γ'_p	γ_o	α_n	*f* /mm	粗齿	中齿	细齿
6		6		57	±0.95	68	±0.95	13	±0.55	24	±0.65	30°~45°	15°	6°	10°	16°	0.4	3	4	
7	±0.18	8	0 -0.022	60		74		16		30							0.6			
8				63		82	±1.1	19	±0.65	38	±0.80									
9		10		69		88														5
10				72		95		22		45						14°				
11	±0.215	12	0 -0.027	79		102														
12				83	±1.10	110		26		53	±0.95						0.8			
14																				
16		16		92		123		32		63										6
18																				
20	±0.26	20	0 -0.033	104		141	±1.25	38	±0.80	75										
22																	1			
25		25		121	±1.25	166		45	±0.95	90	±1.10					12°				
28																				
32	±0.31	32	0 -0.039	133		186	±1.45	53		106								4	6	8
36																				
40		40		155		217		63		125							1.2			
45																				
50		50		177		252		75		150										

注：直柄立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 6117.1—2010。

（3）莫氏锥柄立铣刀的用途及规格尺寸（见表2-50）

表2-50　莫氏锥柄立铣刀的用途及规格尺寸



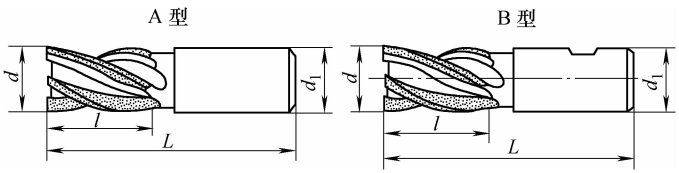
d		L（js16）				l				莫氏锥度号	参考								
mm											β	γ_n	γ_p'	γ_o	α_o	f/mm	齿数		
基本尺寸	极限偏差js14	标准型		长型		标准型		长型									粗齿	中齿	细齿
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	基本尺寸	极限偏差js16	基本尺寸	极限偏差js16										
6	±0.18	83	—	94	—	13	±0.55	24	±0.65	1	30°~45°	15°	6°	10°	16°	0.4	3	4	—
7		86		100		16		30								0.6			
8		89		108		19	±0.65	38	±0.80										
9																			5
10		92		115		22		45							14°				
11	±0.215																		
12		96		123		26		53	±0.95							0.8			
14		111		138															
16		117		148		32	±0.80	63		2									6
18																			
20	±0.26	123		160		38		75											
22		140		177						3						1			
25		147		192		45		90	±1.10						12°				
28																			
32	±0.31	155		208		53	±1.10	106									4	6	8
		178	201	231	254					4									
36		155	—	208	—					3									
		178	201	231	254					4									

注：1. 莫氏锥柄立铣刀的用途见表2-49。
2. 莫氏锥柄立铣刀的规格尺寸摘自GB/T 6117.2—2010。

（4）硬质合金镶螺旋齿直柄立铣刀的用途及规格尺寸（见表2-51）

（5）7∶24 锥柄硬质合金立铣刀的用途及规格尺寸（见表2-52）

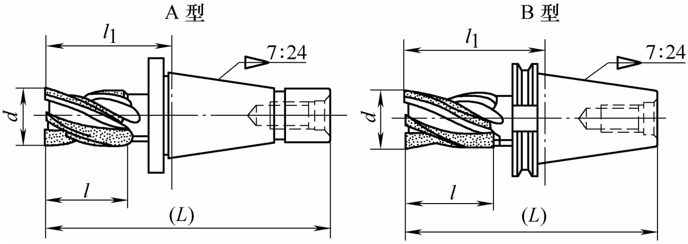
表 2-51 硬质合金镶螺旋齿直柄立铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



d	l		d_1	$L\,(^{+2}_{0})$	d	l		d_1	$L\,(^{+2}_{0})$
（k12）	基本尺寸	极限偏差			（k12）	基本尺寸	极限偏差		
12	20	$^{+2}_{0}$	12	75	25	40	$^{+3}_{0}$	25	111
	25			80		50			121
16	25		16	88	32	40		32	120
	32			95		50			130
20	32		20	97	40	50		40	140
	40			105		63			153

注：硬质合金镶螺旋齿直柄立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 16456.1—2008，其用途参见表 2-49。

表 2-52 7∶24 锥柄硬质合金立铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



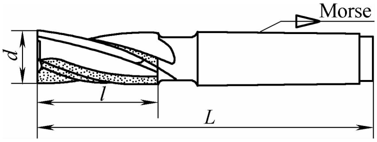
d（k12）	l $(^{+3}_{0})$	A 型				B 型			
		40 号圆锥		50 号圆锥		40 号圆锥		50 号圆锥	
		l_1 $(^{+3}_{0})$	L	l_1 $(^{+3}_{0})$	L	l_1 $(^{+3}_{0})$	L	l_1 $(^{+3}_{0})$	L
32	40	84	177.4	—	—	91	159.4	—	—
	50	94	187.4	—	—	101	169.4	—	—
40	50	94	187.4	103	229.8	101	169.4	107	208.75
	63	107	200.4	116	242.8	114	182.4	120	221.75
50	50	94	187.4	103	229.8	101	169.4	107	208.75
	80	124	217.4	133	259.8	131	199.4	137	238.75
63	63	—	—	116	242.8	—	—	120	221.75
	100	—	—	153	179.8	—	—	157	258.75

注：7∶24 锥柄硬质合金立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 12456.2—2008，其用途见表 2-49。

（6）莫氏锥柄硬质合金立铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-53）

（7）整体硬质合金直柄立铣刀的用途及规格尺寸（见表 2-54）

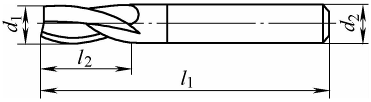
表 2-53 莫氏锥柄硬质合金立铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



d (k12)	l $\left(^{+2}_{0}\right)$	L $\left(^{+2}_{0}\right)$	莫氏锥度号	d (k12)	l $\left(^{+2}_{0}\right)$	L $\left(^{+2}_{0}\right)$	莫氏锥度号
16	25	110	2	40	50	181	4
	32	117			63	194	
20	40	125		50	63	194	4
		142	3		80	238	5
25	50	152		63	63	221	5
32	40	165	4		100	258	
	50	175					

注：莫氏锥柄硬质合金立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 16456. 3—2008，其用途见表 2-49。

表 2-54 整体硬质合金直柄立铣刀的用途及规格尺寸 （单位：mm）



直径 d_1 (h10)	柄部直径 d_2	总长 l_1		刃长 l_2		直径 d_1 (h10)	柄部直径 d_2	总长 l_1		刃长 l_2	
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
1. 0	3	38	$^{+2}_{0}$	3	$^{+1}_{0}$	5. 0	5	47	$^{+2}_{0}$	13	$^{+1.5}_{0}$
	4	43					6	57			
1. 5	3	38		4		6. 0	6	57		13	
	4	43				7. 0	8	63		16	
2. 0	3	38		7		8. 0		63		19	
	4	43				9. 0	10	72		19	
2. 5	3	38	$^{+2}_{0}$	8	$^{+1}_{0}$	10. 0	10	72		22	
	4	43				12. 0	12	76		22	
3. 0	3	38		8				83		26	$^{+2}_{0}$
	6	57				14. 0	14	83		26	
3. 5	4	43		10		16. 0	16	89	$^{+3}_{0}$	32	
	6	57				18. 0	18	92		32	
4. 0	4	43		11	$^{+1.5}_{0}$	20. 0	20	101		38	
	6	57									

注：整体硬质合金直柄立铣刀的规格尺寸摘自 GB/T 16770. 1—2008，其用途见表 2-49。

2.1.7 可转位铣刀

常用的硬质合金可转位铣刀是将多边形的硬质合金刀片通过夹紧装置紧固在刀体上（见图2-29）。使用时，当刀片的一个切削刃磨钝后，可直接在机床上将刀片转位或更换刀片，而不必拆卸铣刀，从而节省了辅助时间，减少了劳动量，降低了成本，因而得到了广泛的使用。常用的可转位铣刀有可转位立铣刀、可转位三面刃铣刀和可转位面铣刀等。

1. 可转位立铣刀

（1）可转位立铣刀型号的表示方法 可转位立铣刀型号的表示方法由11位代号组成，其各位代号及表示的内容见图2-30。

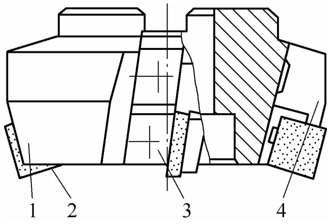


图2-29 硬质合金可转位铣刀的组成

1—刀体 2—刀片 3—楔块 4—刀垫

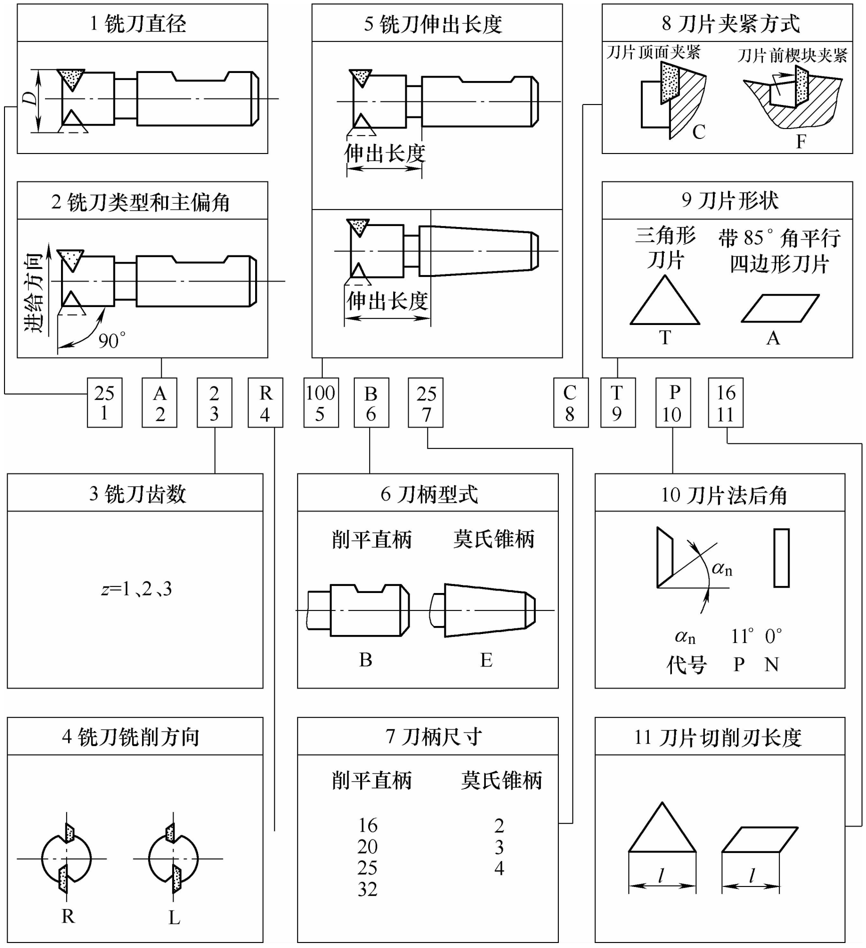


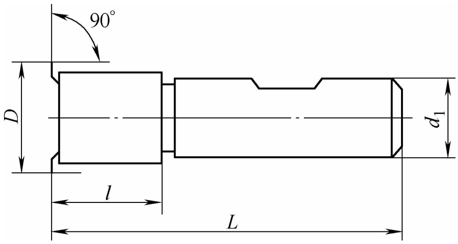
图2-30 可转位立铣刀型号的各位代号及表示的内容

（2）可转位立铣刀的型式和基本尺寸

1）削平直柄可转位立铣刀的型式和基本尺寸见表 2-55。

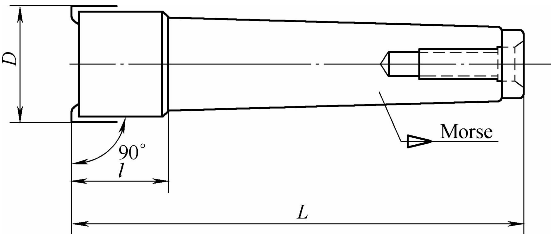
2）莫氏锥柄可转位立铣刀的型式和基本尺寸见表 2-56。

表 2-55　削平直柄可转位立铣刀的型式和基本尺寸（GB/T 5340.1—2006）



D/mm js14	d_1/mm h6	l/mm max	L/mm	齿数（参考值）
12	12	20	70	1
14				
16	16	25	75	
18				
20	20	30	82	2
25	25	38	96	
32	32		100	
40		48	110	3
50				

表 2-56　莫氏锥柄可转位立铣刀的型式和基本尺寸（GB/T 5340.2—2006）



D/mm js14	莫氏锥柄号	l/mm max	L/mm	齿数（参考值）
12	2	20	90	1
14				
16		25	94	
18				
20	3	30	116	2
25		38	124	
32				
40	4	48	157	3
50				

2. 可转位三面刃铣刀

（1）可转位三面刃铣刀型号的表示方法

可转位三面刃铣刀型号的表示方法由11位代号组成，其各位代号及表示的内容见图2-31。

（2）可转位三面刃铣刀的结构和基本尺寸（见表2-57）

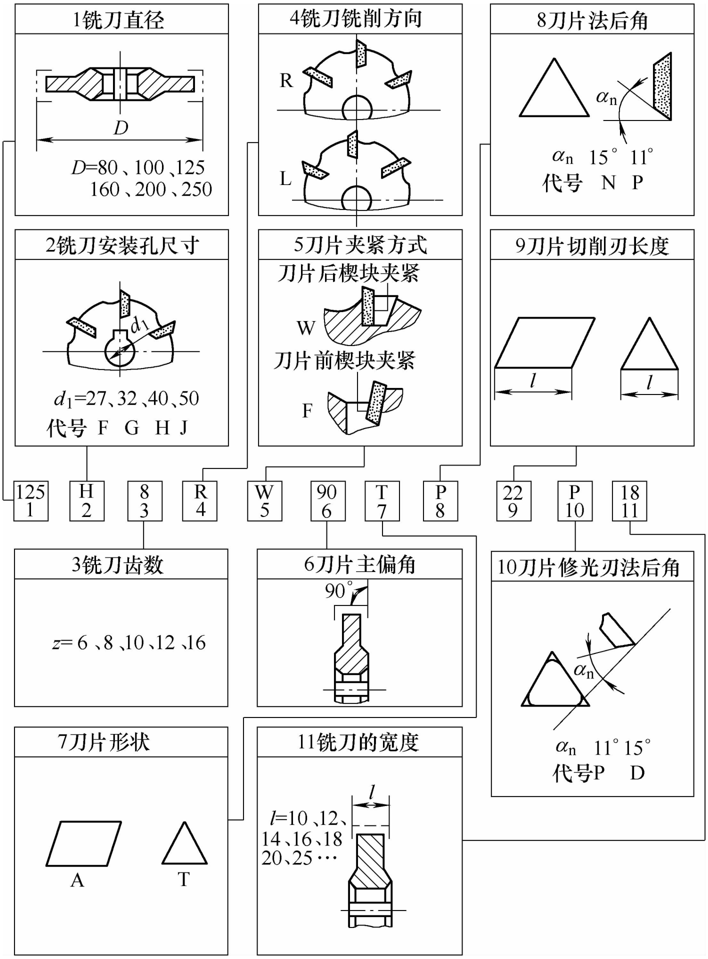
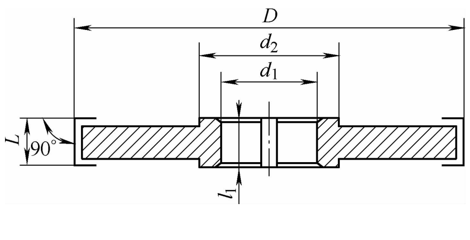


图2-31 可转位三面刃铣刀型号的各位代号及表示的内容

表2-57 可转位三面刃铣刀的结构和基本尺寸（GB/T 5341.1—2006）



（续）

D/mm js16	d_1/mm H7	d_2/mm min	L/mm	$l_1{}^{+2}_{0}$/mm	齿数（参考值）
80	27	41	10	10	6
100	32	47	10	10	8
			12	12	
125	40	55	12	12	
			16	16	
160	40	55	16	16	10
			20	20	
200	50	69	20	20	12
			25	25	

3. 可转位面铣刀

（1）可转位面铣刀型号的表示方法　可转位面铣刀型号的表示方法由 10 位代号组成，其各位代号及表示的内容见图 2-32。

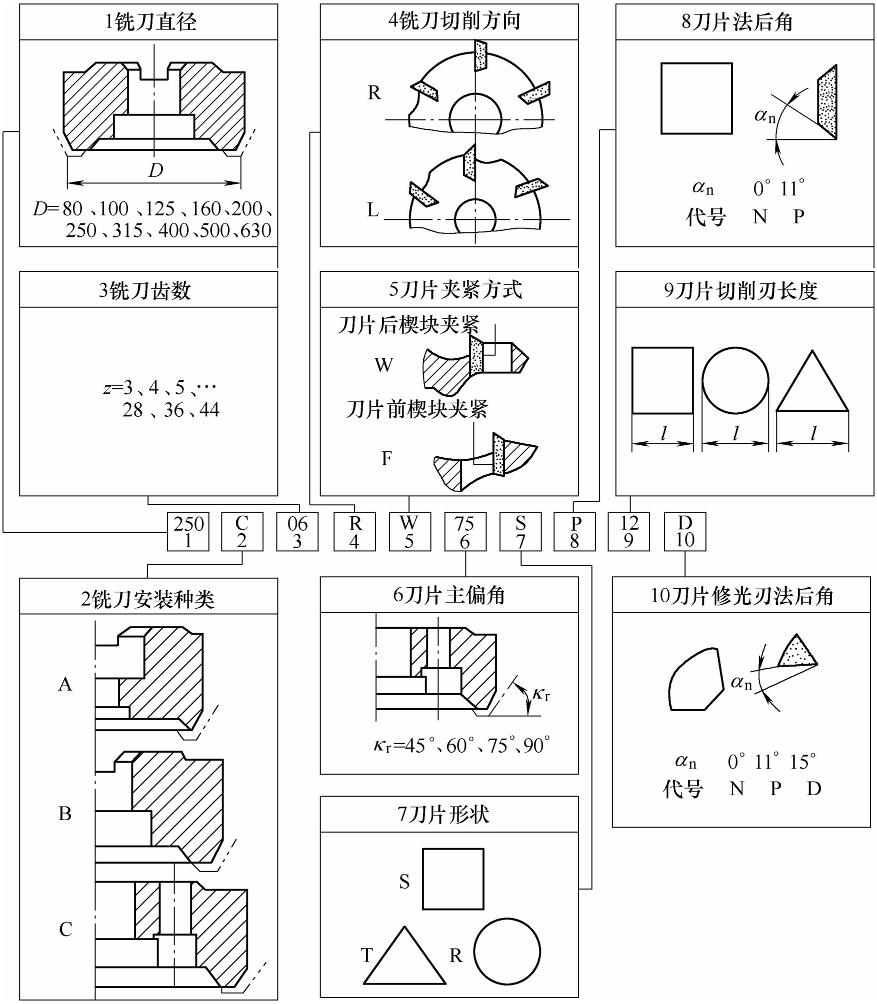
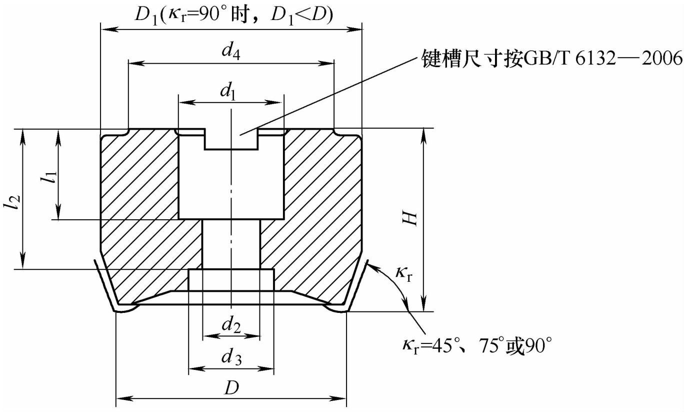


图 2-32　可转位面铣刀型号的各位代号及表示的内容

（2）可转位套式面铣刀的结构和基本尺寸（见表 2-58）

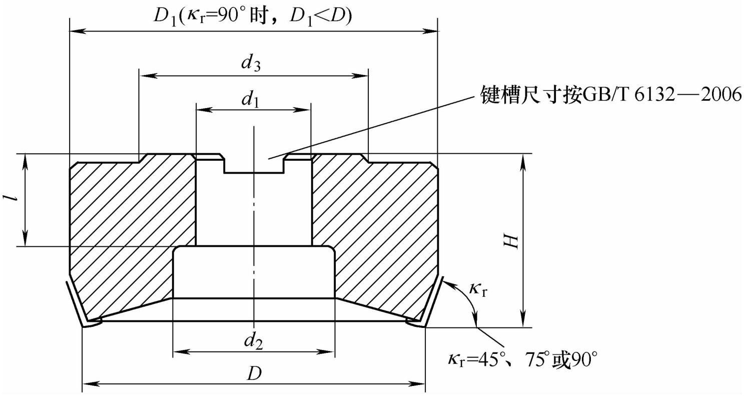
表 2-58 可转位套式面铣刀的结构和基本尺寸（GB/T 5342.1—2006）

A 型面铣刀



D/mm js16	d_1/mm H7	d_2/mm	d_3/mm	d_4/mm min	H/mm ±0.37	l_1/mm	l_2/mm max	齿数		
								粗	中	细
50	22	11	18	47	40	20	33	—	3	—
63									4	
80	27	13.5	20	49	50	22	37		5	
100	32	17.5	27	59		25	33	5	6	8

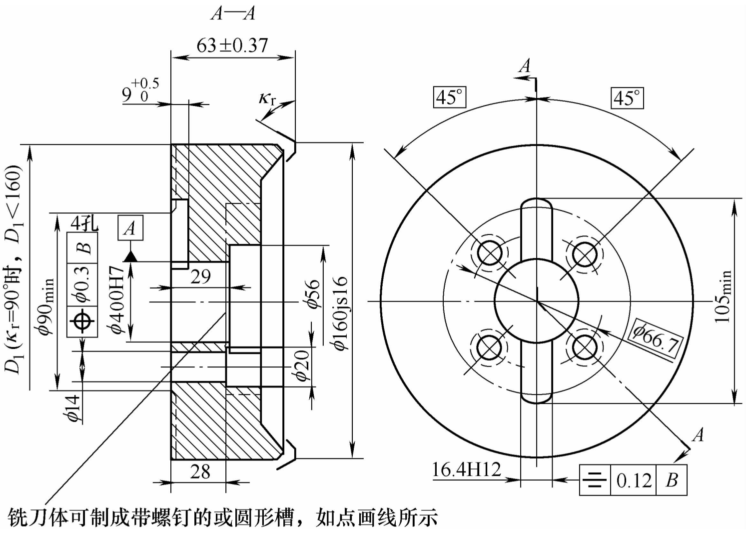
B 型面铣刀



D/mm js16	d_1/mm H7	d_2/mm	d_3/mm min	H/mm ±0.37	l/mm		齿数		
					最小	最大	粗	中	细
80	27	38	49	50	22	30	—	5	—
100	32	45	59		25	32	5	6	8
125	40	56	71	63	28	35	6	8	10

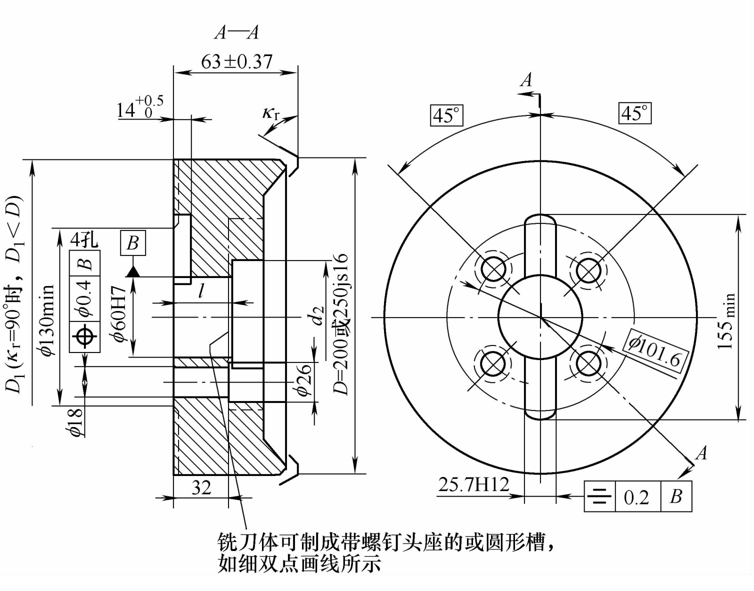
（续）

C 型面铣刀（$D=160\text{mm}$）



注：齿数参考值：粗齿 8、中齿 10、细齿 14。

C 型面铣刀（$D=200\text{mm}$ 和 250mm）

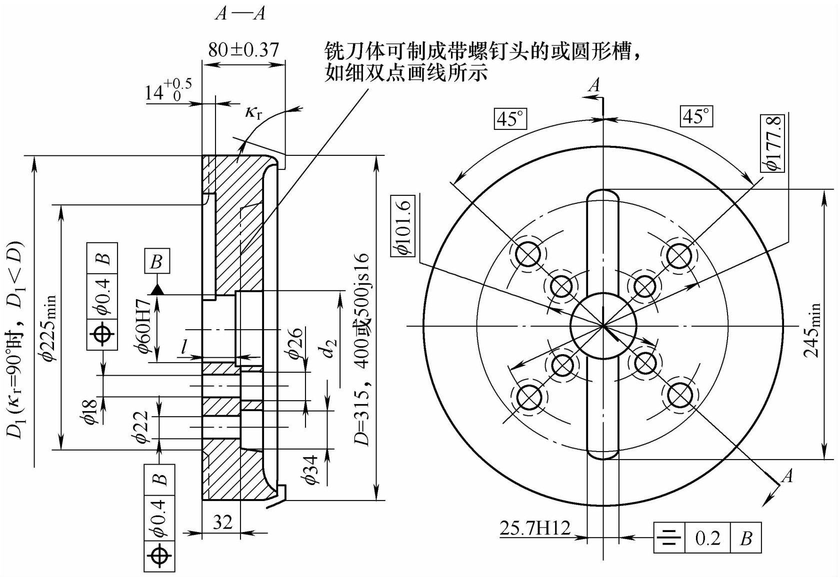


注：1. $D=200\text{mm}$ 的齿数参考值：粗齿 10、中齿 12、细齿 18。

2. $D=250\text{mm}$ 的齿数参考值：粗齿 12、中齿 16、细齿 22。

（续）

C 型面铣刀（D=315mm、400mm 和 500mm）



注：1. C 型面铣刀 κ_r = 45°、75°或 90°。

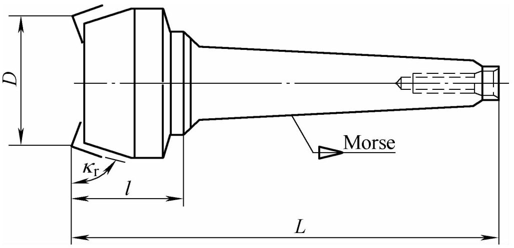
2. D = 315mm 的齿数参考值：粗齿 16、中齿 20、细齿 28。

3. D = 400mm 的齿数参考值：粗齿 20、中齿 26、细齿 36。

4. D = 500mm 的齿数参考值：粗齿 26、中齿 34、细齿 44。

（3）可转位莫氏锥柄面铣刀的结构和基本尺寸（见表 2-59）

表 2-59 可转位莫氏锥柄面铣刀的结构和基本尺寸（GB/T 5342.2—2006）



D/mm js14	L/mm h16	莫氏锥度号	l（参考）/mm	齿数（参考值）
63	157	4	48	4
80				6

4. 可转位硬质合金铣刀刀片

（1）可转位硬质合金刀片的标记方法（GB/T 2076—2007） 可转位硬质合金刀片的型号表示规则用 9 个代号表征刀片的尺寸及其

他特性。代号①~⑦是必需的，表征可转位刀片的必需代号；代号⑧和⑨在需要时添加。

1）可转位硬质合金刀片的标记顺序如下：

① 刀片形状（见表 2-60）。

② 刀片法后角（见表 2-61）。

③ 允许偏差等级（见表 2-62、表 2-63 和表 2-64）。

④ 固定方式及有无断屑槽（见表 2-65）。

⑤ 刀片长度（见表 2-66）。

⑥ 刀片厚度（见表 2-67）。

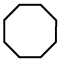
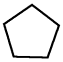
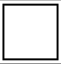
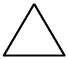
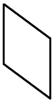
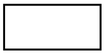
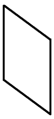
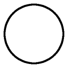
⑦ 刀尖角形状（见表 2-68）。

⑧ 切削刃断面形状（见表 2-69）。

⑨ 切削方向（见表 2-70）。

2）可转位硬质合金刀片形状的代号见表 2-60。

表 2-60 可转位硬质合金刀片形状的代号

刀片形状类别	代号	形状说明	刀尖角 ε_r	示意图
等边等角	H	正六边形	120°	
	O	正八边形	135°	
	P	正五边形	108°	
	S	正方形	90°	
	T	正三角形	60°	
等边不等角	C	菱形	80°①	
	D		55°①	
	E		75°①	
	M		86°①	
	V		35°①	
	W	等边不等角的六边形	80°①	
等角不等边	L	矩形	90°	
不等边不等角	A	平行四边形	85°①	
	B		82°①	
	K		55°①	
	F	不等边不等角六边形	82°①	
圆形	R	圆形	—	

① 所示角度是指较小的角度。

3）可转位硬质合金刀片法后角的代号见表 2-61。

4）可转位硬质合金刀片主要尺寸极限偏差等级的字母代号见表 2-62。其中，主要尺寸包括：d（刀片内切圆直径）、s（刀片的厚度）和 m（刀尖位置尺寸）。

表 2-61 可转位硬质合金刀片法后角的代号

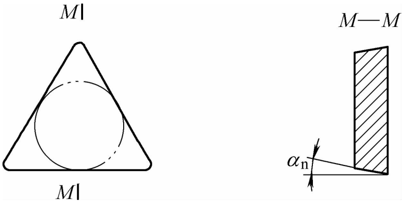
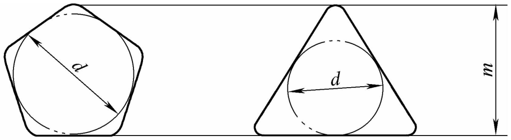
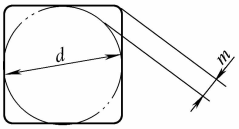
示意图	代号	法后角
	A	3°
	B	5°
	C	7°
	D	15°
	E	20°
	F	25°
	G	30°
	N	0°
	P	11°
	O	其他需专门说明的法后角

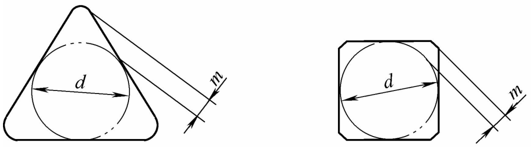
表 2-62 可转位硬质合金刀片主要尺寸极限偏差等级的字母代号



a) 刀片边为奇数，刀尖为圆角



b) 刀片边为偶数，刀尖为圆角



c) 带修光刃的刀片

偏差等级代号	极限偏差/mm			极限偏差/in		
	d	m	s	d	m	s
A①	±0.025	±0.005	±0.025	±0.001	±0.0002	±0.001
F①	±0.013	±0.005	±0.025	±0.0005	±0.0002	±0.001
C①	±0.025	±0.013	±0.025	±0.001	±0.0005	±0.001
H	±0.013	±0.013	±0.025	±0.0005	±0.0005	±0.001

（续）

偏差等级代号	极限偏差/mm			极限偏差/in		
	d	*m*	*s*	*d*	*m*	*s*
E	±0.025	±0.025	±0.025	±0.001	±0.001	±0.001
G	±0.025	±0.025	±0.13	±0.001	±0.001	±0.005
J①	±0.05～±0.15②	±0.005	±0.025	±0.002～±0.006②	±0.0002	±0.001
K①	±0.05～±0.15②	±0.013	±0.025	±0.002～±0.006②	±0.0005	±0.001
L①	±0.05～±0.15②	±0.025	±0.025	±0.002～±0.006②	±0.001	±0.001
M	±0.05～±0.15②	±0.08～±0.2②	±0.13	±0.002～±0.006②	±0.003～±0.008②	±0.005
N	±0.05～±0.15②	±0.08～±0.2②	±0.025	±0.002～±0.006②	±0.003～±0.008②	±0.001
U	±0.08～±0.25②	±0.13～±0.38②	±0.13	±0.003～±0.01②	±0.005～±0.015②	±0.005

① 通常用于具有修光刃的可转位刀片。

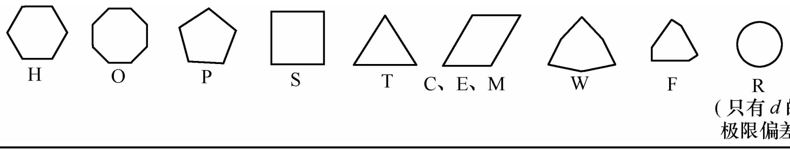
② 极限偏差取决于刀片尺寸的大小（见表2-63、表2-64），每种刀片的尺寸极限偏差应按其相应的尺寸标准表示。

① 形状为H、O、P、S、T、C、E、M、W、F和R的刀片，其*d*尺寸的J、K、L、M、N和U级极限偏差；刀尖角大于，等于60°的形状为H、O、P、S、T、C、E、M、W和F的刀片，其*m*尺寸的M、N和U级极限偏差均应符合表2-63的规定。

表2-63　几种刀片的极限偏差

内切圆基本尺寸 *d*		*d*值极限偏差				*m*值极限偏差			
		J、K、L、M、N级		U级		M、N级		U级	
mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
4.76	3/16	±0.05	±0.002	±0.08	±0.003	±0.08	±0.003	±0.13	±0.005
5.56	7/32								
6①	—								
6.35	1/4								
7.94	5/16								
8①	—								
9.525	3/8								
10①	—								
12①	—	±0.08	±0.003	±0.13	±0.005	±0.13	±0.005	±0.2	±0.008
12.7	1/2								
15.875	5/8	±0.1	±0.004	±0.18	±0.007	±0.15	±0.005	±0.27	±0.011
16①	—								
19.05	3/4								
20①	—								
25①	—	±0.13	±0.005	±0.25	±0.01	±0.18	±0.007	±0.38	±0.015
25.4	1								
31.75	1¼	±0.15	±0.005	±0.25	±0.01	±0.2	±0.008	±0.38	±0.15
32①	—								

刀片形状



① 只适用于圆形刀片。

② 刀尖角为 55°（D 形）、35°（V 形）的菱形刀片，其 m 尺寸、d 尺寸的 M、N 级极限偏差应符合表 2-64 的规定。

5）表示刀片固定方式及有无断屑槽的字母代号见表 2-65。

表 2-64 几种菱形刀片的极限偏差

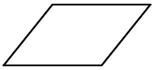
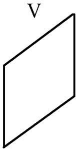
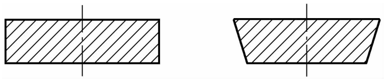
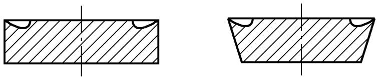
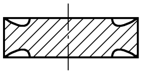
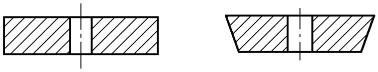
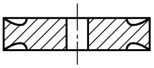
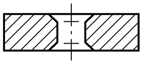
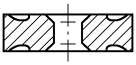
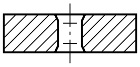
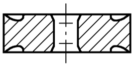
内切圆基本尺寸 d		d 值极限偏差		m 值极限偏差		刀片形状
mm	in	mm	in	mm	in	
5.56	7/32	±0.05	±0.002	±0.11	±0.004	D 
6.35	1/4					
7.94	5/16					
9.525	3/8					
12.7	1/2	±0.08	±0.003	±0.15	±0.006	
15.875	5/8	±0.1	±0.004	±0.18	±0.007	
19.05	3/4					
6.35	1/4	±0.05	±0.002	±0.16	±0.006	V 
7.94	5/16					
9.525	3/8					
12.7	1/2	±0.08	±0.003	±0.2	±0.008	
15.875	5/8	±0.1	±0.004	±0.27	±0.011	
19.05	3/4					

表 2-65 表示刀片固定方式及有无断屑槽的字母代号

代号	固定方式	断屑槽①	示意图
N	无固定孔	无断屑槽	
R		单面有断屑槽	
F		双面有断屑槽	
A	有圆形固定孔	无断屑槽	
M		单面有断屑槽	
G		双面有断屑槽	

（续）

代号	固定方式	断屑槽[①]	示意图
W	单面有40°～50°固定沉孔	无断屑槽	
T		单面有断屑槽	
Q	双面有40°～60°固定沉孔	无断屑槽	
U		双面有断屑槽	
B	单面有70°～90°固定沉孔	无断屑槽	
H		单面有断屑槽	
C	双面有70°～90°固定沉孔	无断屑槽	
J		双面有断屑槽	
X[②]	其他固定方式和断屑槽型式，需附图形或加以说明		—

① 断屑槽的说明见GB/T 12204—2010。

② 不等边刀片通常在代号④用X表示，刀片宽度的测定（垂直于主切削刃或垂直于较长的边）以及刀片结构的特征需要予以说明。如果刀片形状没有列入代号①的表示范围，则此处不能用代号X表示。

6）表示刀片长度的数字代号见表2-66。

表2-66 表示刀片长度的数字代号

刀片形状类别	数字代号
Ⅰ-Ⅱ等边形刀片	1）在采用米制单位时，用舍去小数部分的刀片切削刃长度值表示，如果舍去小数部分后，只剩下一位数字，则必须在数字前加“0” 如：切削刃长度15.5mm，表示代号为：15 切削刃长度9.525mm，表示代号为：09 2）在采用英制单位时，用刀片内切圆的数值作为表示代号。数值取按1/8英寸为单位测量得到的分数的分子 ① 当取用数字是整数时，用一位数字表示 如：内切圆直径（1/2）in表示代号为4（1/2＝4/8） ② 当取用数字不是整数时，用两位数字表示 如：内切圆直径（5/16）in表示代号为2.5（5/16＝2.5/8）

（续）

刀片形状类别	数字代号
Ⅲ-Ⅳ不等边形刀片	通常用主切削刃或较长的边的尺寸值作为表示代号，刀片其他尺寸可以用符号 X 在代号④表示，并需附示意图或加以说明 1）在采用米制单位时，用舍去小数部分后的长度值表示 如：主要长度尺寸 19.5mm 表示代号为：19 2）在采用英制单位时，用按 1/4 英寸为单位测量得到的分数的分子表示 如：主要长度尺寸（3/4）in 表示代号为：3
Ⅴ圆形刀片	1）在采用米制单位时，用舍去小数部分后的数值表示 如：刀片尺寸 15.875mm 表示代号为：15 对公制圆形尺寸，结合代号⑦中的特殊代号，上述规则同样适用 2）在采用英制单位时，表示方法与等边形刀片相同（见Ⅰ-Ⅱ类）

7）表示刀片厚度的数字代号见表 2-67。

表 2-67 表示刀片厚度的数字代号

数字代号表示规则
1）在采用米制单位时，用舍去小数值部分的刀片厚度值表示。若舍去小数部分后，只剩下一位数字，则必须在数字前加“0” 如：刀片厚度 3.18mm，表示代号为：03 当刀片厚度整数值相同，而小数值部分不同，则将小数部分大的刀片代号用“T”代替 0，以示区别 如：刀片厚度 3.97mm，表示代号为：T3 2）在采用英制单位时，用按（1/16）in 为单位测量得到的分数的分子表示 ① 当数值是一个整数时，用一位数值表示 如：主要长度尺寸（1/8）in 表示代号为：2（1/8 = 2/16） ② 当数值不是一个整数时，用两位数值表示 如：主要长度尺寸（3/32）in 表示代号为：1.5（3/32 = 1.5/16）

8）表示刀尖角形状的字母和数字代号见表 2-68。

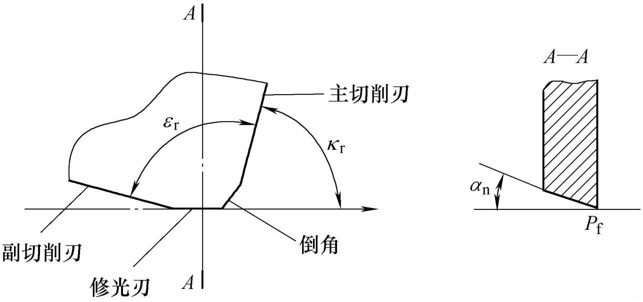
表 2-68 表示刀尖角形状的字母和数字代号

数字或字母代号
1）若刀尖角为圆角，则其代号表示为 ① 在采用米制单位时，用按 0.1mm 为单位测量得到的圆弧半径值表示，如果数值小于 10，则在数字前加“0”。如果刀尖圆弧半径：0.8mm，表示代号为：08；如果刀尖角不是圆角时，则表示代号为：00。 ② 在采用英制单位时，则用下列代号表示 0——尖角（不是圆形） 1——圆弧半径（1/64）in 2——圆弧半径（1/32）in 3——圆弧半径（3/64）in 4——圆弧半径（1/16）in 6——圆弧半径（3/32）in 8——圆弧半径（1/8）in X——其他尺寸圆弧半径

（续）

数字或字母代号

2）若刀片具有修光刃（见示意图），则用下列代号表示：



注 1：修光刃是副切削刃的一部分。

2：具有修光刃的刀片，根据其类型可能有或没有削边，本标准没有对其作出规定。标准刀片有无削边体现在尺寸标准上，非标准刀片有无削边则由供应商的产品样本给出。

表示主偏角 κ_r 的大小	表示修光刃法后角 α_n' 大小
A—45°	A—3°
D—60°	B—5°
E—75°	C—7°
F—85°	D—15°
P—90°	E—20°
Z—其他角度	F—25°
	G—30°
	N—0°
	P—11°
	Z—其他角度

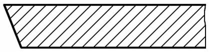
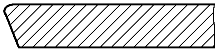
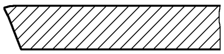
3）圆形刀片的表示规则，应视使用单位制式的情况区别表示

① 采用英制单位时，用“00”表示

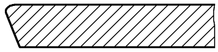
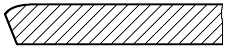
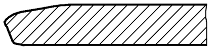
② 采用米制单位时，用“M0”表示

9）表示刀片切削刃断面形状的字母代号见表 2-69。

表 2-69 表示刀片切削刃断面形状的字母代号

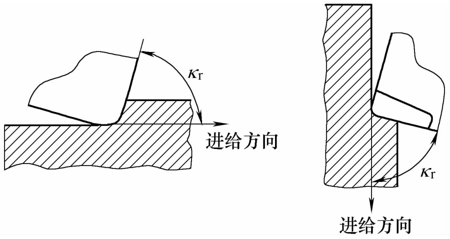
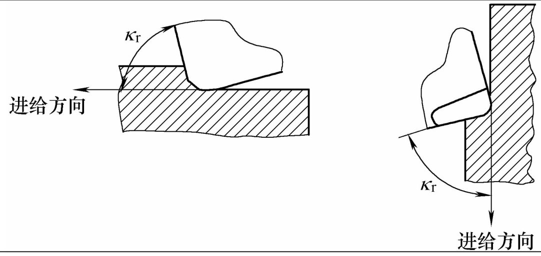
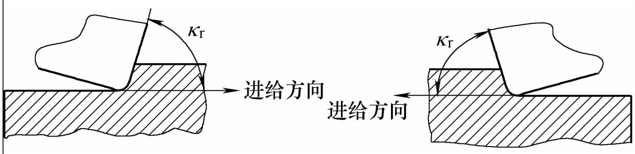
代号	刀片切削刃截面形状	示意图
F	尖锐切削刃	
E	倒圆切削刃	
T	倒棱切削刃	

（续）

代号	刀片切削刃截面形状	示意图
S	既倒棱又倒圆切削刃	
Q	双倒棱切削刃	
P	既双倒棱又倒圆切削刃	

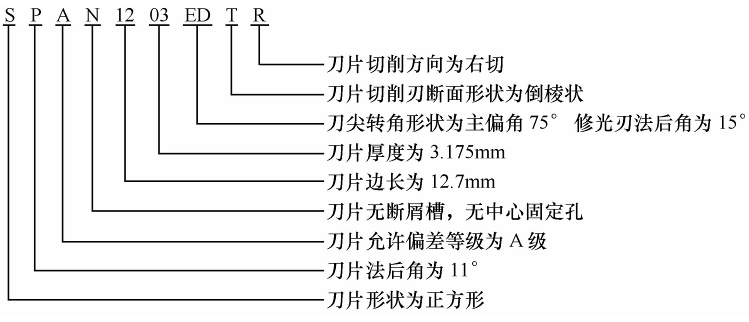
10）表示刀片切削方向的字母代号见表 2-70。

表 2-70 表示刀片切削方向的字母代号

代号	切削方向	刀片的应用	示意图
R	右切	适用于非等边、非对称角、非对称刀尖、有或没有非对称断屑槽刀片，只能用该进给方向	
L	左切	适用于非等边、非对称角、非对称刀尖、有或没有非对称断屑槽刀片，只能用该进给方向	
N	双向	适用于有对称刀尖、对称角、对称边和对称断屑槽的刀片，可能采用两个进给方向	

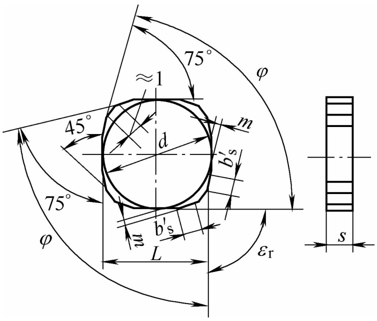
（2）可转位硬质合金铣刀片的型号及基本尺寸

1）可转位硬质合金铣刀片型号表示方法示例如下：



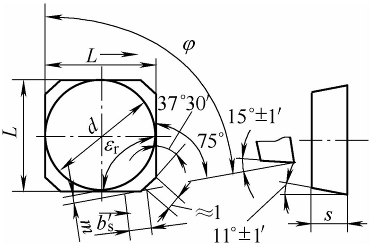
2）可转位硬质合金铣刀刀片的型号及基本尺寸见表2-71～表2-77。

表2-71 主偏角75°、法后角0°正方形刀片



型 号	d = L/mm	s/mm	b'_s/mm ≈	m/mm	ε_r		φ	
					度数	极限偏差	度数	极限偏差
SNAN1204ENN						±8′		0′～+15′
SNCN1204ENN	12.70	4.76	1.4	0.80	90°		75°	
SNKN1204ENN						±30′		0′～+30′
SNAN1504ENN						±8′		0′～+15′
SNCN1504ENN	15.875	4.76	1.4	1.50	90°		75°	
SNKN1504ENN						±30′		0′～+30′
SNAN1904ENN						±8′		0′～+15′
SNCN1904ENN	19.05	4.76	2.0	1.30	90°		75°	
SNKN1904ENN						±30′		0′～+30′

表2-72 主偏角75°、法后角11°、修光刃后角11°或15°正方形刀片

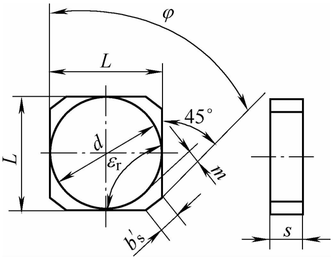


型 号	d = L/mm	s/mm	b'_s/mm ≈	m/mm	ε_r		φ	
					度数	极限偏差	度数	极限偏差
SPAN1203EDR						±8′		0′～+15′
SPAN1203EDL								
SPCN1203EDR	12.70	3.175	1.4	0.90	90°		75°	
SPCN1203EDL								
SPKN1203EDR						±30′		0′～+30′
SPKN1203EDL								

（续）

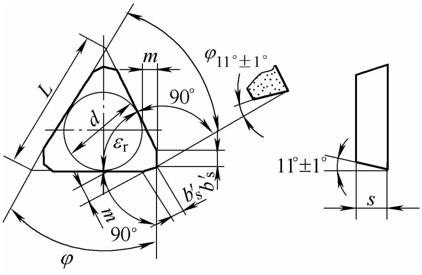
型号	d = L/mm	s/mm	b'_s/mm ≈	m/mm	ε_r 度数	ε_r 极限偏差	φ 度数	φ 极限偏差
SPAN1504EDR	15.875	4.76	1.4	1.25	90°	±8′	75°	0′ ~ +15′
SPAN1504EDL								
SPCN1504EDR								
SPCN1504EDL								
SPKN1504EDR						±30′		0′ ~ +30′
SPKN1504EDL								

表 2-73　主偏角 45°、法后角 0°正方形刀片



型号	d = L/mm	s/mm	b'_s/mm ≈	m/mm	ε_r 度数	ε_r 极限偏差	φ 度数	φ 极限偏差
SNAN1204ANN	12.70	4.76	3.0	2.50	90°	±8′	45°	±8′
SNCN1204ANN								
SNKN1204ANN						±30′		±15′
SNAN1504ANN	15.875					±8′		±8′
SNCN1504ANN								
SNKN1504ANN						±30′		±15′
SNAN1904ANN	19.05	4.76	3.0	2.50	90°	±8′	45°	±8′
SNCN1904ANN								
SNKN1904ANN						±30′		±15′

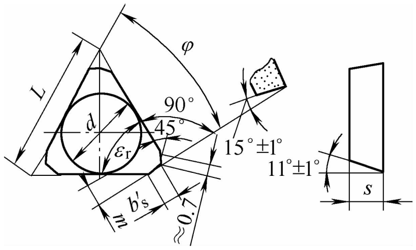
表 2-74　主偏角 90°、法后角 11°、修光刃法后角 11°三角形刀片



（续）

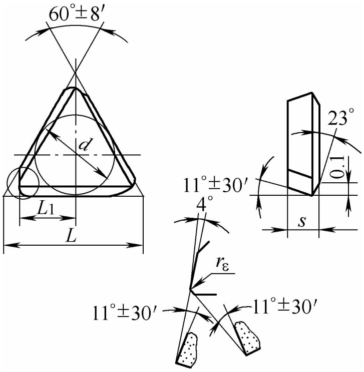
型号	L/mm ≈	d/mm	s/mm	b_s'/mm	m/mm	ε_r 度数	ε_r 极限偏差	φ 度数	φ 极限偏差
TPAN1103PPN	11.0	6.35	3.175	0.7	1.72	60°	±8′	30°	0′～+15′
TPCN103PPN									
TPKN1103PPN							±30′		0′～+30′
TPAN1603PPN	16.5	9.525		1.2	2.45		±8′		0′～+15′
TPCN1603PPN									
TPKN1603PPN							±30′		0′～+30′
TPAN2204PPN	22.0	12.70	4.76	1.3	3.55	60°	±8′	30°	0′～+15′
TPCN2204PPN									
TPKN2204PPN							±30′		0′～+30′

表 2-75 主偏角 90°、法后角 11°、修光刃法后角 15°三角形刀片



型号	L/mm ≈	d/mm	s/mm	b_s'/mm	m/mm	ε_r 度数	ε_r 极限偏差	φ 度数	φ 极限偏差
TPAN1603PDR	16.5	9.525	3.175	1.3	2.45	60°	±8′	30°	0′～+15′
TPAN1603PDL									
TPCN1603PDR									
TPCN1603PDL									
TPKN1603PDR							±30′		0′～+30′
TPKN1603PDL									
TPAN2204PDR	22.0	12.70	4.76	1.4	3.55	60°	±8′	30°	0′～+15′
TPAN2204PDL									
TPCN2204PDR									
TPCN2204PDL									
TPKN2204PDR							±30′		0′～+30′
TPKN2204PDL									

表 2-76 主偏角 90°、法后角 11°不等边不等角六边形刀片 (单位：mm)

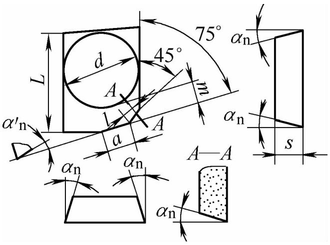


型号	L ≈	d	s	L1 基本尺寸	L1 极限偏差	r_ε ±0.1
FPCN110305R	11.0	6.35	3.175	4.76	±0.013	0.5
FPCN110305L						
FPCN110310R						1.0
FPCN110310L						
FPCN160305R	16.5	9.525	3.175	7.00	±0.013	0.5
FPCN160305L						
FPCN160310R						1.0
FPCN160310L						
FPCN160315R	16.5	9.525	3.175	7.00	±0.013	1.5
FPCN160315L						
FPCN160320R						2.0
FPCN160320L						
FPCN220405R	22.0	12.70	4.76	9.20	±0.013	0.5
FPCN220405L						
FPCN220410R						1.0
FPCN220410L						
FPCN220415R						1.5
FPCN220415L						
FPCN220420R						2.0
FPCN220420L						
FPCN220425R						2.5
FPCN220425L						

（续）

型 号	L ≈	d	s	L_1 基本尺寸	L_1 极限偏差	r_ε ±0.1
FPCN270605R	27.5	15.875	6.35	11.30	±0.013	0.5
FPCN270605L						
FPCN270610R						1.0
FPCN270610L						
FPCN270620R						2.0
FPCN270620L						
FPCN270630R						3.0
FPCN270630L						

表2-77 主偏角75°、法后角11°、15°带修光刃精铣刀片



型 号	L/mm	d/mm ±0.025	s/mm ±0.025	m/mm ±0.025	a/mm	a_n ±1°	a'_n ±1°	φ 度数	φ 极限偏差
LPEX1403EDR	14.70	12.70	3.175	0.97	8	11°	15°	75°	0′～+30′
LPEX1403EDL									
LPEX1804EDR	18.30	15.875	4.76	1.32	10	11°	15°	75°	0′～+30′
LPEX1804EDL									

5. 可转位硬质合金铣刀刀片的定位、夹紧与刀片位置的调整

可转位硬质金铣刀刀片定位和夹紧的基本要求如下：

1）保证定位精度，即在安装和转位后能保证刀片在规定的位置上。

2）夹紧可靠，能保证在铣削过程中刀片保持稳固。

3）操作方便，能方便迅速地实现刀片转位或更换刀片。

4）刀片的定位、夹紧元件不会影响切屑的流出。

（1）可转位硬质合金铣刀刀片的定位 可转位硬质合金铣刀刀片安装后，刀片的径向和端面跳动量对铣刀切削刃在铣削过程中的磨损和工件表面的加工质量影响很大。因此，除必须保证铣刀刀片、刀体和定位元件的制造精度外，还应选择刀片正确的定位方式。

铣刀刀片的主要定位基面可选取刀片的顶面或底面。用顶面定位可消除刀片的厚度误差对刀刃位置的影响，故定位精度较高。刀片另外三个自由度的限制，则可利用刀片两个相邻的侧面来定位。根据接触方式的不同，刀片侧面的定位方式可分为以下三类：

1）点接触式定位。由图 2-33 可见，刀片是靠其底面和相邻两侧面刀槽的三个球面支承来定位的。两侧面各有一个定位块，结构简单、调整方便。这种三点定位比平面定位可减少定位元件制造误差对刀片定位精度的影响，通常可保证重复定位精度在 0.02～0.04mm 以内，因而应用较多。

2）面接触式定位。由图 2-34a 可见，刀片相邻两侧面靠刀垫或刀体上刀片槽来支承定位。这种定位方式的定位接触面大，夹紧力分布较为均匀，支承稳定，但刀片和刀片槽的形状误差对定位精度影响较大。

3）点、面接触式定位。由图 2-34b 可见，这种定位方式的特点是刀片一侧用点接触支承，另一侧用面接触支承，介于上述两种定位方式之间。

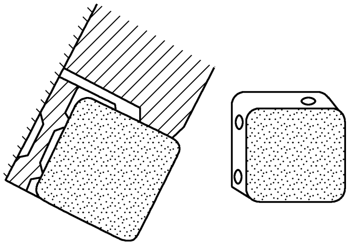
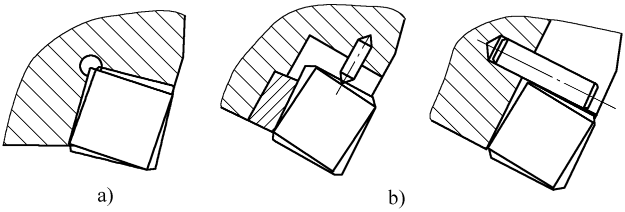


图 2-33　刀片侧面点接触式定位

（2）可转位铣刀刀片的夹紧　可转位铣刀刀片的夹紧方法主要有楔块夹紧、螺钉夹紧、弹性夹紧、偏心夹紧和上压夹紧等。各种可转位铣刀刀片夹紧方法的结构简图和夹紧特点见表 2-78。

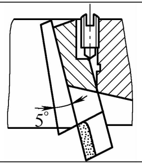
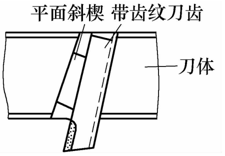
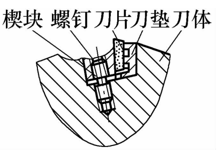
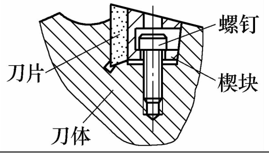


a)　　　　b)

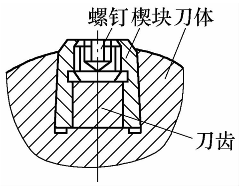
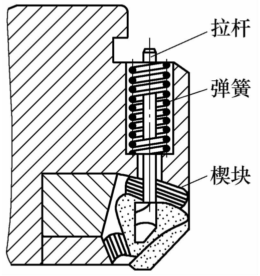
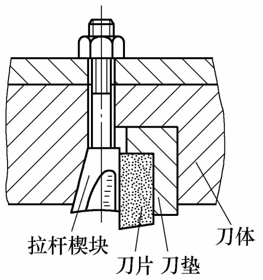
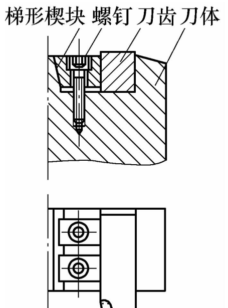
图 2-34　刀片侧面的面接触式定位与点、面接触式定位

a）面接触式定位　b）点面接触式定位

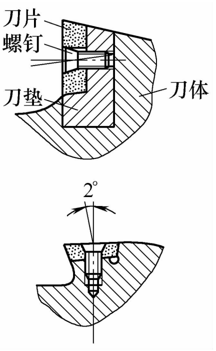
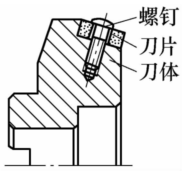
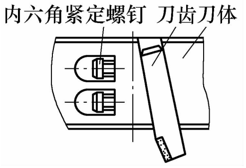
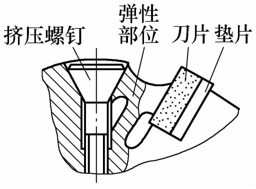
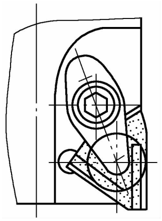
表 2-78　各种可转位铣刀刀片夹紧方法的结构简图和夹紧特点

夹紧方法	结构简图	夹紧特点
楔块夹紧		夹固可靠，刀齿拆装方便，但因楔块和刀齿接触面长，所以需要楔块、刀齿和刀齿的齿槽制造精度高
平面斜楔和齿纹夹紧		5°楔角的平面斜楔将刀齿夹固在刀体的刀槽内，并用齿纹防止刀齿径向移动和调节铣刀的直径。制造繁琐，故少用
螺钉楔块夹紧		螺钉楔块夹紧刀片夹紧较稳固，应用比较普遍 采用左、右旋双头螺栓、楔块夹紧，楔块在刀片前面，避免了刀体与切屑的摩擦，但由于使用刀片底面定位，定位精度受力片厚度偏差的影响较大
		带 T 形槽的楔块，采用内六角螺钉夹紧，楔块布置在刀片后刀面上，结构简单，但夹紧力与切削力方向相反，要求夹紧力较大。刀片前刀面定位，精度高，可省去刀垫，结构简单，但楔块占空间较大，不利于密齿铣刀的应用

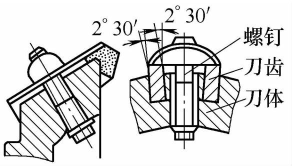
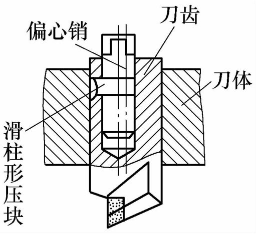
（续）

夹紧方法	结构简图	夹紧特点
冂形楔块夹紧		刀体的刀槽两侧做成5°的斜面和冂形刀壳相配。当拧紧刀壳顶部的螺钉时，螺钉顶住刀齿将刀壳提起，借助于两侧斜面使刀壳产生弹性变形而夹紧。夹固零件占用的位置小、刀齿的齿数多，但夹固牢度差，易产生轴向窜动
楔块弹簧夹紧		利用拉杆、楔块和弹簧夹紧刀片，夹紧力稳定，刀体不易变形，压缩弹簧，即可松开和更换刀片。这种夹紧方法结构紧凑，适用于密齿面铣刀
拉杆楔块夹紧		采用拉杆楔块夹紧、拉杆楔块为一整体，拧紧螺母，即可将刀片夹紧在刀体上。这种夹紧方法夹紧可靠、制造方便、结构紧凑，适用于密齿面铣刀。但切削刃的轴向圆跳动要由刀片和刀垫的制造精度来保证
梯形楔块夹紧		夹固可靠，刀齿的刚性亦好，但螺钉、梯形楔块和刀齿的安装基面之间的相互位置精度必须保证，否则影响夹固的可靠性

（续）

夹紧方法	结构简图	夹紧特点
螺钉夹紧		螺钉夹紧结构最简单，要求刀片是带孔的，刀片可立装和平装 当刀片是平装时，容屑空间大，特别适用于切削深度大的场合 采用锥形沉头螺钉压紧，螺钉的轴线与刀片槽底面的法向有一定的倾角。旋紧螺钉时，其头部锥面将刀片压向刀片槽的底面及定位侧面。这种夹紧方法结构简单，夹紧元件不阻碍切屑流出，缺点是刀片位置精度不能调，要求制造精度高
		采用螺钉端面压紧，螺钉头部凸出于刀片之外，刀片采用立装式较多。这种夹紧方法适用于带孔的刀片
		这种夹紧方法结构简单可靠，刀齿拆装方便。每个刀齿所占的圆周位置大，限制了铣刀的刀齿数
弹性壁夹紧		旋紧螺钉时，其头部锥体将刀体的弹性壁压向刀片面，将刀片压紧在刀片槽内 其结构简单，便于制造，但刚性差，易损坏
上压夹紧		刀片由压板压紧在刀体槽内，结构简单，制造容易。刀片位置不可调整，尺寸精度差，大多用于立铣刀。压板形式有爪形、桥形或蘑菇头螺钉。这种夹紧方法可以承受很大的切削力，刀片也不会松动和窜动

（续）

夹紧方法	结构简图	夹紧特点
螺钉压板夹紧		这种夹紧方法结构简单，占用位置少，在刀体上可安装较多的刀齿。因为刀槽侧壁略有斜度，所以夹固可靠。卸刀齿时，因斜度楔角有自锁作用，所以需敲打卸刀齿
偏心夹紧		刀齿是用光滑圆柱和刀体上的光滑圆孔相配合，在刀齿体内做有与其外圆表面同心的圆柱孔，在这个孔中装有小偏心销，另外在刀齿上做一径向孔，其轴线和刀齿轴向相交，其中装有滑柱形压块。当转动偏心轴的方头时，滑柱形压块压向刀槽孔壁而夹固刀齿。这种夹紧方法结构紧凑，夹紧迅速可靠，铣刀体制造方便

由表2-78可见，可转位硬质合金铣刀刀片的夹紧方法很多，但各有特点及其适用场合。例如上压夹紧方法常用于可转位硬质合金立铣刀（见图2-35），用螺钉、压板进行夹紧；同时也用于小直径的可转位硬质合金套式面铣刀（见图2-36），是通过蘑菇头螺钉夹紧刀片的。

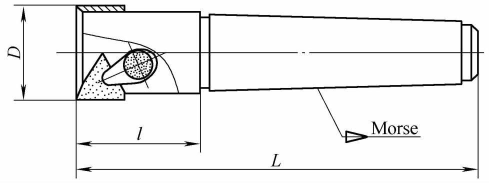


图2-35 可转位硬质合金立铣刀

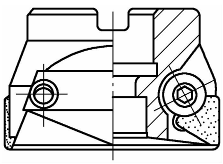


图2-36 可转位硬质合金套式面铣刀

图2-37所示为可转位硬质合金三面刃铣刀，和直径较大的可转位硬质合金面铣刀（见图2-38）的刀片，均采用螺钉、楔块夹紧。

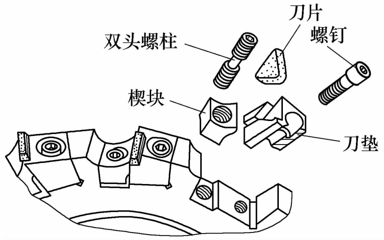


图2-37 可转位硬质合金三面刃铣刀

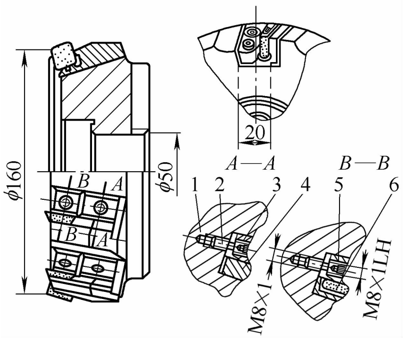


图2-38 可转位硬质合金面铣刀

1—刀体 2—双头螺钉 3、5—楔块 4—刀垫 6—刀片

（3）可转位铣刀刀片位置的调整方法

1）用轴向支承块调整。由图2-39a可见，刀垫的后半部为轴向支承块，改变轴向支承块的位置，就可以调整刀片的轴向位置。

2）用螺钉调整。由图2-39b可见，转动止推环上的调整螺钉，使刀垫移动，即可调整

刀片的轴向和径向位置。

3）用偏心轮调整。由图 2-39c 可见，用扳手转动位于刀片（或刀垫）后面的偏心凸轮，即可调整刀片的轴向位置。销钉用来防止偏心凸轮滑出槽外。

4）用双螺钉和调整块调整。由图 2-39d 可见，转动两个调整螺钉，使调整块横向移动，即可调整刀片的轴向位置。

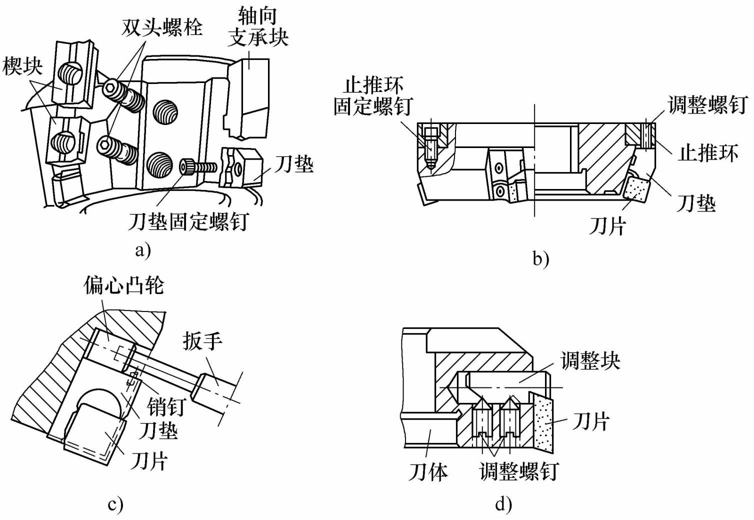


图 2-39 铣刀刀片轴向及径向位置的调整结构

a）用轴向支承块调整 b）用螺钉调整 c）用偏心轮调整

d）用双螺钉和调整块调整

2.1.8 铣刀的安装

（1）带孔铣刀的安装 带孔铣刀需借助于刀杆安装在铣床主轴上。由图 2-40 可见，刀杆左端的圆锥与铣床的主轴孔配合，锥度的尾端有内螺纹孔，通过拉杆将刀杆拉紧在主轴锥孔内。刀杆锥度前端有一凸缘，凸缘上有两个缺口，与主轴轴端的端面键配合。刀杆中间是光轴，用于安装铣刀、垫圈和套筒。刀杆上带有键槽，用来安装定位键将转矩传给铣刀。刀杆右端是螺纹和轴颈，螺纹用来安装压紧螺母，紧固铣刀。轴颈用来与吊架轴承孔配合，支承刀杆的外端。

（2）面铣刀的安装 面铣刀安装时，可使用短刀杆（见图 2-41a），铣刀安装在刀杆上后，用螺钉从孔的止口内端面将铣刀紧固在刀杆上（见图 2-41b）。

（3）带柄铣刀的安装

1）锥柄铣刀的安装。当铣刀锥柄尺寸与主轴锥孔相同时，可直接装入锥孔，并用拉杆拉紧。如果尺寸不同，则要用过渡锥套（中间套）进行安装，见图 2-42a。

2）直柄铣刀的安装。直柄铣刀常用弹簧夹头安装，见图 2-42b。安装时旋紧螺母，使弹簧套作径向收缩而将铣刀的柱柄夹紧。

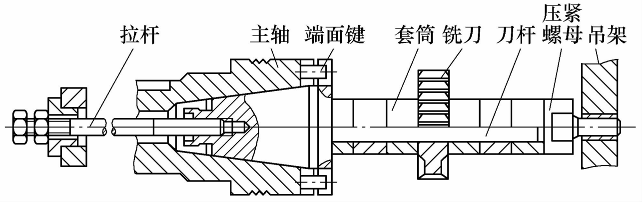


图 2-40 带孔铣刀的安装

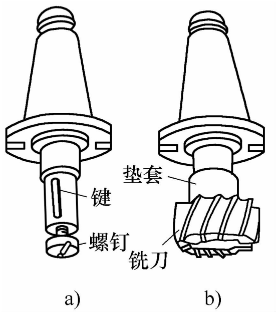


图 2-41　面铣刀的安装

a）短刀杆　b）安装在短刀杆上的面铣刀

（4）多刀铣削时铣刀的安装　多刀铣削是在刀杆上安装一把以上的铣刀对工件进行铣削。多刀铣削可用于铣削几个相同工件的同一表面；或将几把铣刀组合起来铣削工件的成形面；而用来铣削工件上有相互尺寸精度和位置精度要求的表面时，可避免分几次铣削带来的调整误差。多刀铣削时，应根据工件的精度要求，选用精度适当的铣刀和合理的调整方法，以保证工件的加工质量。

多刀铣削时，铣刀的安装与调整实例分述如下：

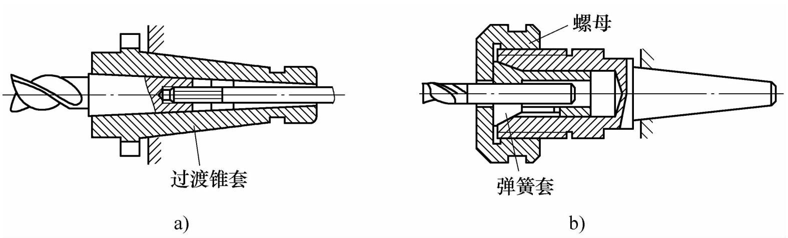


图 2-42　带柄铣刀的安装

a）锥柄铣刀的安装　b）直柄铣刀的安装

1）例 1：由图 2-43 可见，用宽度相等的 4 把铣刀，配装三个长度相等的轴套组合后，用来铣削 7 个六方工件的对边。4 把铣刀的宽度必须与工件间的距离 L 相等，铣刀中间的轴套长度必须与工件对边尺寸 S 相同。

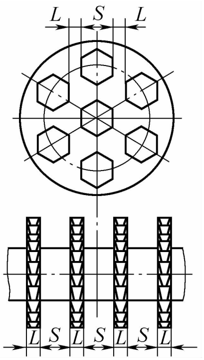


图 2-43　用组合铣刀铣六方工件

2）例 2：由图 2-44 可见，用两把三面刃铣刀配以和工件距离长度相等（L）的专用轴套 1，用来铣削 4 个相同工件两端的槽（图中只示出两个工件）。为保证槽深 H 和槽宽 L_1，铣刀的外径和宽度必须一致。

3）例 3：由图 2-45 可见，为铣削导轨成形面，用 7 把铣刀组成组合铣刀。铣刀按要求尺寸、形状刃磨后进行组装。

4）例 4：由图 2-46 可见，用三把成形铣刀铣削轴端的三个定位槽。刃磨成形铣刀除保证三把铣刀的直径一致外，还要保证成形面对宽度的对称性。为保证两槽之间的尺寸精度，两把铣刀间配以相应长度的轴套 1 和 2。

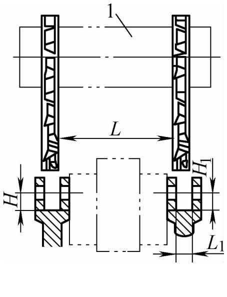


图 2-44　用组合铣刀铣槽

1—专用轴套

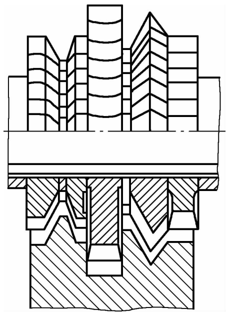


图 2-45　用组合铣刀铣导轨成形面

5）例 5：图 2-47 所示工件，需铣削上平面 A 和槽 B。为保证 A 平面与 B 槽的位置精度和提高生产率，采用了组合铣削。图 2-48 所示的组合铣刀主要由立铣刀 1（铣削槽 B）、可转位面铣刀 2（铣削 A 面）、端面键 3 和过渡套 4 组成。组装好的组合铣刀装入铣床的主轴孔内，用拉杆拉紧。

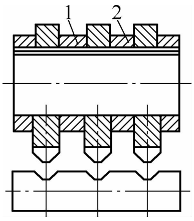


图 2-46 用组合铣刀铣成形槽

1、2—轴套

6）例 6：由图 2-49 可见，用两把铣刀铣削工件上对称于轴线的定位基面（两侧平面）。为保证加工精度，用微调轴套 1 调整两铣刀端面之间的距离 L；并用微调轴套 2 调整右侧铣刀端面至工件轴线间的精确距离 L_1。

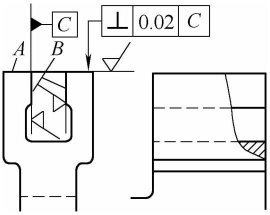


图 2-47 工件

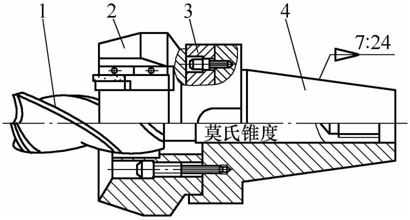


图 2-48 组合铣刀铣平面和槽

1—立铣刀 2—可转位面铣刀

3—端面键 4—过渡套

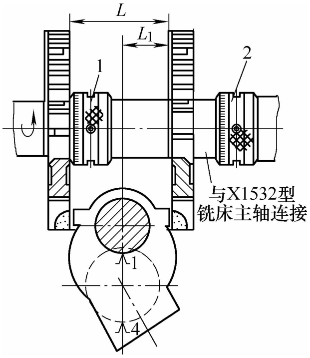


图 2-49 用组合铣刀铣定位基面

1、2—微调轴套

2.1.9 铣刀辅具

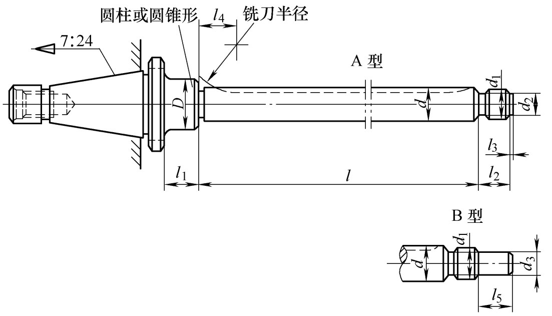
从铣刀的安装可见，必须使用多种辅具。辅具包括铣刀杆、铣刀夹头、轴套、中间套等，现分述如下。

1. 铣刀杆

铣刀杆有 7∶24 锥柄铣刀杆的型式与基本尺寸见表 2-79，莫氏锥柄铣刀杆的型式与基本尺寸见表 2-80，与铣刀杆配合使用的调整垫圈的型式与基本尺寸见表 2-81，铣刀杆轴套的型式与基本尺寸见表 2-82，螺母的型式与基本尺寸见表 2-83，铣床用拉杆的型式与基本尺寸见表 2-84。

此外，用来安装面铣刀的铣刀杆有 7∶24 锥柄带纵键面铣刀杆（见表 2-85）、莫氏锥柄带纵键面铣刀杆（见表 2-86）、7∶24 锥柄带端键面铣刀杆（见表 2-87），莫氏锥柄带端键面铣刀杆（见表 2-88）、快换面铣刀杆（见表 2-89），以及配合使用的面铣刀杆螺钉（见表 2-90）和面铣刀杆螺钉扳手（见表 2-91）。

表 2-79 7∶24 锥柄铣刀杆的型式与基本尺寸（JB/T 3411.110—1999）（单位：mm）



标记示例

7∶24 圆锥为 40 号，$d=22$mm，$l=315$mm 的 A 型 7∶24 锥柄铣刀杆标记为：

刀杆 A40-22×315 JB/T 3411.110—1999

（续）

7:24锥度号	d 基本尺寸	d 极限偏差h6	有效长度 l										
			A 型			A 型 B 型							
30	16	$^{0}_{-0.011}$	63	100	160	200	250	315					
	22	$^{0}_{-0.013}$	63	100	160	200	250	315	400				
	27		63	100	160	200	250	315	400				
40	16	$^{0}_{-0.011}$	63	100	160	200	250	315	400				
	22	$^{0}_{-0.013}$	63	100	160	200	250	315	400	500（450）			
	27		63	100	160	—	250	315	400	500（450）	630（560）		
	32	$^{0}_{-0.016}$	63	100	160	—	250	315	400	500（450）	630（560）		
	40		—	100	160	—	—	315	400	500（450）	630（560）		
45	22	$^{0}_{-0.013}$	63	100	160	200	250	315	400				
	27		63	100	160	—	250	315	400	500（450）			
	32	$^{0}_{-0.016}$	63	100	160	—	—	315	400	500（450）	630（560）		
	40		—	100	160	—	—	—	400	500（450）	630（560）		
50	22	$^{0}_{-0.013}$	63	100	160	200	250	315	400	500（450）	630（560）		
	27		63	100	160			315	400	500（450）	630（560）	800（710）	
	32	$^{0}_{-0.016}$	63	100	160			315	400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
	40			100	160				400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
	50								400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
	60	$^{0}_{-0.019}$							400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
60	50	$^{0}_{-0.016}$									630（560）	800（710）	1000（900）
	60	$^{0}_{-0.019}$									630（560）	800（710）	1000（900）
	80											800（710）	1000（900）
	100	$^{0}_{-0.022}$										800（710）	1000（900）

7:24锥度号	D_{min}	d_1	d_2	d_3 基本尺寸	d_3 极限偏差g6	l_1	l_2	l_{3min}	l_4	l_5
30	27	M16×1.5	13	13	−0.006 −0.017	20	(1～1.25) d_1 +2	2	23	20
	34	M20×2	16	16					25	25
	41	M24×2	20	20	−0.007 −0.020				26	32
40	27	M16×1.5	13	13	−0.006 −0.017	25			23	20
	34	M20×2	16	16					25	25
	41	M24×2	20	20	−0.007 −0.020				26	32
	47	M27×2	23	23					27	
	55	M33×2	29	29					28	
45	34	M20×2	16	16	−0.006 −0.017	30			25	25
	41	M24×2	20	20	−0.007 −0.020				26	32
	47	M27×2	23	23					27	
	55	M33×2	29	29					28	

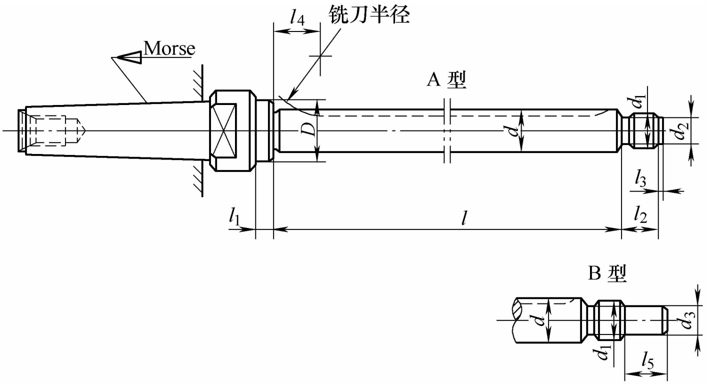
（续）

7:24锥度号	D_{min}	d_1	d_2	d_3 基本尺寸	d_3 极限偏差g6	l_1	l_2	l_{3min}	l_4	l_5
50	34	M20×2	16	16	-0.006 -0.017	30	(1~1.25)d_1+2	2	25	25
	41	M24×2	20	20	-0.007 -0.020				26	32
	47	M27×2	23	23					27	
	55	M33×2	29	29					28	
	69	M39×3	34	34	-0.009 -0.025			3	29	56
	84	M45×3	40	40					30	
60	69	M39×3	34	34		40			29	
	84	M45×3	40	40					30	
	109	M56×4	49	—	—			5	31	—
	134	M68×4	61	—	—				33	—

注：括号中的有效长度 l 尽可能不采用。

表 2-80 莫氏锥柄铣刀杆的型式与基本尺寸（JB/T 3411.111—1999）

（单位：mm）



标记示例

莫氏圆锥为 4 号，d=22mm，l=315mm 的 B 型莫氏锥柄铣刀杆标记为：

刀杆 B4-22×315 JB/T 3411.111—1999

莫氏锥度号	d 基本尺寸	d 极限偏差h6	有效长度 l A型			有效长度 l A型 B型							
3	16	0 -0.011	63	—	—	200	250	315					
	22	0 -0.013	63	100	—	200	250	315	400				
	27		63	100	160	200	250	315	400				

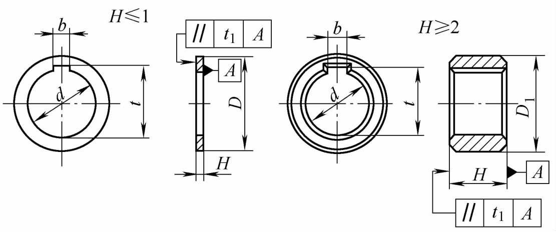
（续）

莫氏锥度号	d 基本尺寸	d 极限偏差 h6	有效长度 l A型			有效长度 l A型　B型							
4	16	0 -0.011	63	—	—	200	250	315	400				
	22	0 -0.013	63	100	—	200	250	315	400	500（450）			
	27		63	100	160	—	250	315	400	500（450）	630（560）		
	32	0 -0.016	63	100	160	—	250	315	400	500（450）	630（560）		
	40		—	100	160	—	—	315	400	500（450）	630（560）		
5	22	0 -0.013	63	100	—	200	250	315	400	500（450）	630（560）		
	27		63	100	160			315	400	500（450）	630（560）	800（710）	
	32	0 -0.016	63	100	160			315	400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
	40			100	160				400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
	50				160				400	500（450）	630（560）	800（710）	1000（900）
6	50				160						630（560）	800（710）	1000（900）
	60	0 -0.019			160						630（560）	800（710）	1000（900）
	80				160							800（710）	1000（900）
	100	0 -0.022			160							800（710）	1000（900）

莫氏锥度号	D_{min}	d_1	d_2	d_3 基本尺寸	d_3 极限偏差 g6	l_1	l_2	l_{3min}	l_4	l_5
3	27	M16×1.5	13	13	-0.006 -0.017	10	1～1.25 d_1+2	2	27	20
	34	M20×12	16	16						25
	41	M24×12	20	20	-0.007 -0.020					32
4	27	M16×1.5	13	13	-0.006 -0.017					20
	34	M20×2	16	16						25
	41	M24×2	20	20	-0.007 -0.020					32
	47	M27×2	23	23					29	
	55	M33×2	29	—	—	20			30	—
5	34	M20×2	16	16	-0.006 -0.017	10			27	25
	41	M24×2	20	20	-0.007 -0.026					32
	47	M27×2	23	23					29	
	55	M33×2	29	—	—	20			30	—
	69	M39×3	34	—	—			3	31	—
6	69	M39×3	34	—	—					—
	84	M45×3	40	—	—					—
	109	M56×4	49	—	—	30		5	32	—
	134	M68×4	61	—	—					—

注：括号中的有效长度 l 尽可能不采用。

表 2-81 调整垫圈的型式与基本尺寸（JB/T 3411.112—1999）（单位：mm）



注：对于厚垫圈可以有一个直径等于 $d+1$mm，长度等于$\frac{H}{2}$mm 的空刀。

标记示例

$d=22$mm，$H=20$mm 的调整垫圈标记为：

垫圈 22×20 JB/T 3411.112—1999

d	基本尺寸	16	22	27	32	40	50	60	80	100
	极限偏差 C11	+0.205 +0.095	+0.240 +0.110		+0.280 +0.120		+0.290 +0.130	+0.330 +0.140	+0.340 +0.150	+0.390 +0.170
D	基本尺寸	26	33	40	46	54	68	83	—	—
	极限偏差 h11	0 −0.130	0 −0.160			0 −0.190		0 −0.220	—	—
D_1	基本尺寸	27	34	41	47	55	69	84	109	134
	极限偏差 h11	0 −0.130	0 −0.160			0 −0.190		0 −0.220		0 −0.250
b	基本尺寸	4	6	7	8	10	12	14	18	25
	极限偏差 C11	+0.145 +0.070		+0.170 +0.080			+0.205 +0.095			+0.240 +0.110
t	基本尺寸	17.7	24.1	29.8	34.8	43.5	53.5	64.2	85.5	107.0
	极限偏差	+0.1 0		+0.2 0						
H		（0.03）；（0.04）；0.05；0.1；0.2；0.3；0.6；1								
		2；3；6								
		10								
									（12）（13）（16）	
		10								
		30								
			60							
				100						
t_1		0.004					0.005		0.006	

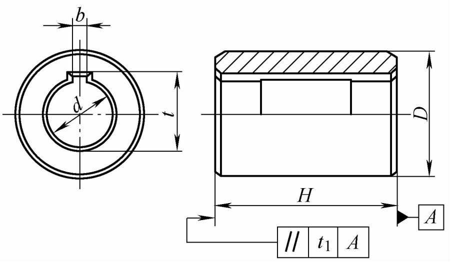
注：1. 括号内的尺寸尽可能不采用。

2. 厚度 $H \geq 2$mm 时，其极限偏差为 ±0.1mm。

3. 厚度 $H \leq 1$mm 时，可采用钢带 65Mn，I-G-Q-Gn，YB/T 5063—1993 冲压制造。

表 2-82 铣刀杆轴套的型式与基本尺寸（JB/T 3411.113—1999）

（单位：mm）



注：如要空刀，其尺寸为：直径等于 $d+1$mm，长度等于$\frac{H}{2}$mm。

标记示例

$d=22$mm，$D=42$mm 的铣刀杆轴套标记为：

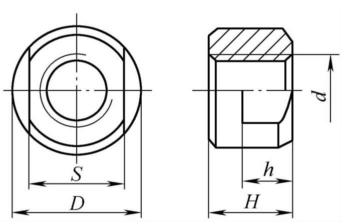
轴套 22×42 JB/T 3411.113—1999

d		b		t		D						
基本尺寸	极限偏差 H7	基本尺寸	极限偏差 C11	基本尺寸	极限偏差	42	48	56	70	85	110	140
						H						
16	+0.018 0	4	+0.145 +0.070	17.7	+0.1 0	60	70	80				
22	+0.021 0	6	+0.145 +0.070	24.1	+0.1 0	60	70	80	100			
27	+0.021 0	7	+0.170 +0.080	29.8	+0.2 0	60	70	80	100	120		
32	+0.025 0	8	+0.170 +0.080	34.8	+0.2 0		70	80	100	120		
40	+0.025 0	10	+0.170 +0.080	43.5	+0.2 0			80	100	120		
50	+0.025 0	12	+0.205 +0.095	53.5	+0.2 0				100	120	140	
60	+0.030 0	14	+0.205 +0.095	64.2	+0.2 0						140	
80	+0.030 0	18	+0.205 +0.095	85.5	+0.2 0						140	
100	+0.035 0	25	+0.240 +0.110	107.0	+0.2 0							160
t_1						0.004			0.005		0.006	

注：1. 尺寸 D 的极限偏差为 g6。

2. 尺寸 H 的极限偏差为 ±0.1mm。

表 2-83 螺母的型式与基本尺寸（JB/T 3411.114—1999）（单位：mm）



标记示例

$d=$M20×2 的螺母标记为：

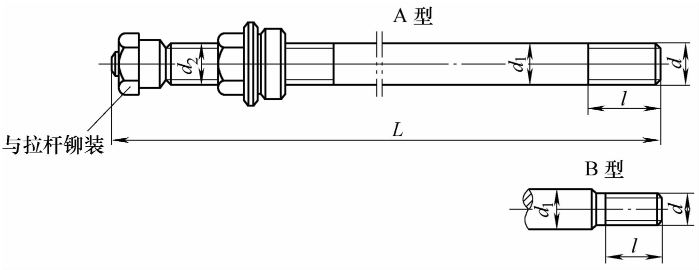
螺母 M20×2 JB/T 3411.114—1999

（续）

d		M16×1.5	M20×2	M24×2	M27×2	M33×2	M39×3	M45×3	M56×4	M68×4
D≈		27	34	41	47	55	69	84	109	134
H		(1～1.25) d								
S	基本尺寸	22	27	32	41	46	55	70	85	105
S	极限偏差 h13	0 -0.33								
S	极限偏差 h14	—			0 -0.62		0 -0.74		0 -0.87	
h		大于相应扳手的宽度								
适用刀杆直径		16	22	27	32	40	50	60	80	100

表 2-84 铣床用拉杆的型式与基本尺寸（JB/T 3411.125—1999）

（单位：mm）



标记示例

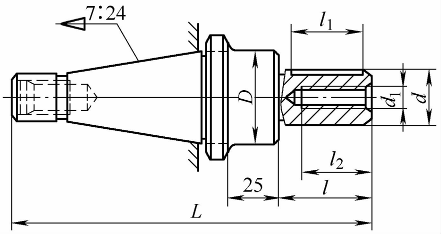
d = M12，d_1 = 25mm，L = 700mm 的铣床用 B 型拉杆标记为：

拉杆 B M12×25×700 JB/T 3411.125—1999

型号	d	d_1	d_2	l	L										
B	M10	16	M16	25											
B	M12	16	M16	25											
B	M12	25	M24	25											
A	M16	16	M16	32											
B	M16	25	M24	32	400	500	550	575	600	625	650				
A	M20	20	M20	40	700 1050	720 1100	750 1150	775 1200	800 1250	850 1300	875 1350	900 1400	950 1450	975 1500	1000
B	M20	25	M24	40											
B	M24	25	M24	50											
B	M24	32	M32	50	1550	1600									
B	M30	32	M32	63	1650	1700									
B	M36	40	M40	80	1800	1900									
B	M48	52	M52	100											

注：铣床用拉杆的长度 L 可根据机床规格按需在表中选取。

表 2-85 7:24 锥柄带纵键面铣刀杆（JB/T 3411.115—1999）（单位：mm）



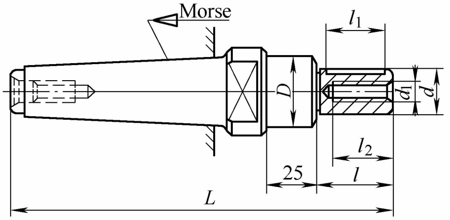
标记示例

7:24 圆锥 40 号，d = 27mm，L = 61mm 的 7:24 锥柄带纵键面铣刀杆标记为：

刀杆 40-27 × 61 JB/T 3411.115—1999

7:24 锥度号		30		40				45				50		
d	基本尺寸	16	22	16	22	27		16	22	27		22	27	
	极限偏差 h6	0 -0.011	0 -0.013	0 -0.011	0 -0.013		0 -0.011	0 -0.013						
l_{max}		29	37	29	37	21	61	29	37	21	61	37	21	61
D_{min}		28	36	28	36	43		28	36	43		36	43	
d_1		M8	M10	M8	M10	M12		M8	M10	M12		M10	M12	
L		132	140	159	167	151	191	174	182	166	206	204	188	228
l_1		22	32	22	32	14	50	22	32	14	50	32	14	50
l_2			28		28	32			28	32		28	32	

表 2-86 莫氏锥柄带纵键面铣刀杆（JB/T 3411.116—1999）（单位：mm）



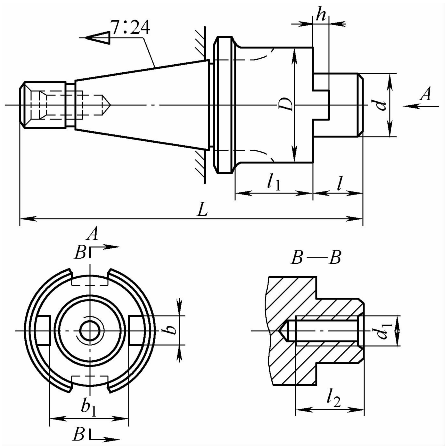
标记示例

莫氏圆锥 4 号，d = 22mm，l = 37mm 的莫氏锥柄带纵键面铣刀杆标记为：

刀杆 4-22 × 37 JB/T 3411.116—1999

莫氏锥度号		3		4				5			
d	基本尺寸	16	22	16	22	27		16	22	27	
	极限偏差 h6	0 -0.011	0 -0.013	0 -0.011	0 -0.013			0 -0.011	0 -0.013		
l_{max}		29	37	29	37	21	61	29	37	21	61
D_{min}		28	36	28	36	43		28	36	43	
d_1		M8	M10	M8	M10	M12		M8	M10	M12	
L		158	166	186	194	178	218	218	226	210	250
l_1		22	32	22	32	14	50	22	32	16	50
l_2			28		28	32			28	38	

表 2-87 7:24 锥柄带端键面铣刀杆（JB/T 3411.117—1999）（单位：mm）



注：端键的具体结构由设计决定。

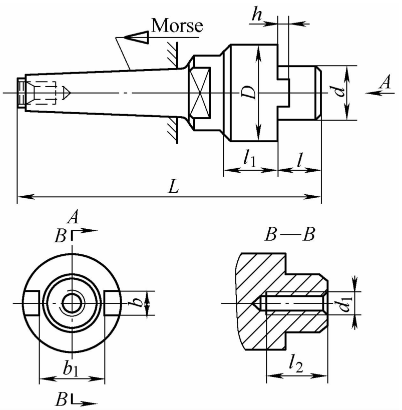
标记示例

7:24 圆锥 40 号，d = 32mm 的 7:24 锥柄带端键面铣刀杆标记为：

刀杆 40-32 JB/T 3411.117—1999

7:24 锥度号	d		l_{max}	D_{min}	l_1	b		h		b_{1min}	l_2	d_1	L_{max}
	基本尺寸	极限偏差 h6				基本尺寸	极限偏差 h11	基本尺寸	极限偏差 h11				
30	16	0 -0.011	17	32	25	8	0 -0.090	5.0	0 -0.075	17.0	22	M8	120
	22	0 -0.013	19	40		10		5.6		22.5	28	M10	122
	27		21	48		12	0 -0.110	6.3	0 -0.090	28.5	32	M12	124
40	16	0 -0.011	17	32		8	0 -0.090	5.0	0 -0.075	17.0	22	M8	147
	22	0 -0.013	19	40		10		5.6		22.5	28	M10	149
	27		21	48		12	0 -0.110	6.3	0 -0.090	28.5	32	M12	151
	32	0 -0.016	24	58	40	14		7.0		33.5	36	M16	169
	40		27	70		16		8.0		44.5	45	M20	172
45	22	0 -0.013	19	40		10	0 -0.090	5.6	0 -0.075	22.5	28	M10	179
	27		21	48		12	0 -0.110	6.3	0 -0.090	28.5	32	M12	181
	32	0 -0.016	24	58		14		7.0		33.5	36	M16	184
	40		27	70		16		8.0		44.5	45	M20	187
50	27	0 -0.013	21	48		12		6.3		28.5	32	M12	203
	32	0 -0.016	24	58		14		7.0		33.5	36	M16	206
	40		27	70		16		8.0		44.5	45	M20	209
	50		30	90		18		9.0		55.0	50	M24	212

表 2-88　莫氏锥柄带端键面铣刀杆（JB/T 3411.118—1999）（单位：mm）



注：端键的具体结构由设计决定。

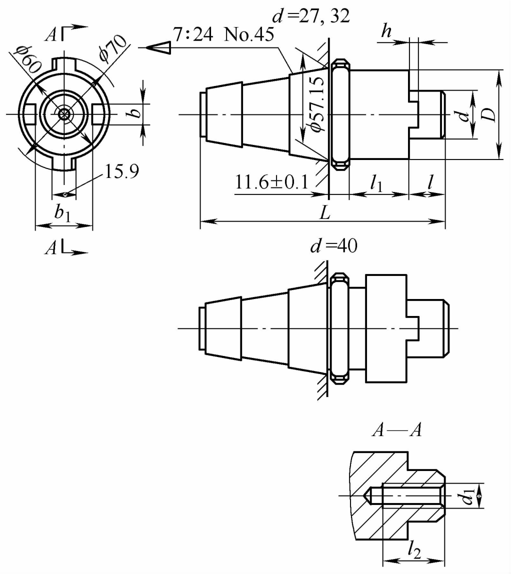
标记示例

莫氏圆锥 3 号，d = 27mm 的莫氏锥柄带端键面铣刀杆标记为：

刀杆 3-27 JB/T 3411.118—1999

莫氏锥度号	d 基本尺寸	d 极限偏差 h6	l_{max}	D_{min}	l_1	b 基本尺寸	b 极限偏差 h11	h 基本尺寸	h 极限偏差 h11	b_{1min}	l_2	d_1	L_{max}
3	16	0 -0.011	17	32	25	8	0 -0.090	5.0	0 -0.075	17.0	22	M8	146
	22	0 -0.013	19	40		10		5.6		22.5	28	M10	148
	27		21	48		12	0 -0.110	6.3	0 -0.090	28.5	32	M12	150
4	22		19	40		10	0 -0.090	5.6	0 -0.075	22.5	28	M10	176
	27		21	48		12	0 -0.110	6.3	0 -0.090	28.5	32	M12	178
	32	0 -0.016	24	58	40	14		7.0		33.5	36	M16	196
	40		27	70		16		8.0		44.5	45	M20	199
5	27	0 -0.013	21	48		12		6.3		28.5	32	M12	225
	32	0 -0.016	24	58		14		7.0		33.5	36	M16	228
	40		37	70		16		8.0		44.5	45	M20	231
	50		30	90		18		9.0		55.0	50	M24	234

表 2-89 快换面铣刀杆（JB/T 3411.123—1999） （单位：mm）



注：端键的具体结构由设计决定。

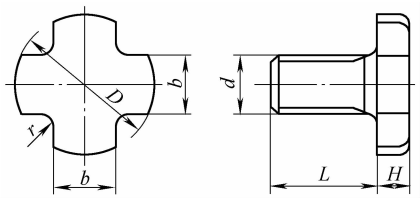
标记示例

锥柄为 7:24 圆锥 45 号，d = 27mm 的快换面铣刀杆标记为：

刀杆 45-27
JB/T 3411.123—1999

d		l_{max}	b		b_{1min}	h		D_{min}	d_1	L_{max}	l_1	l_2
基本尺寸	极限偏差 h6		基本尺寸	极限偏差 h11		基本尺寸	极限偏差 h11					
27	0 -0.013	21	12	0 -0.110	28.5	6.3	0 -0.090	48	M12	142	25	32
32	0 -0.016	24	14		33.5	7.0		58	M16	160	40	36
40		27	16		44.5	8.0		70	M20	163		45

表 2-90 面铣刀杆螺钉（JB/T 3411.126—1999） （单位：mm）



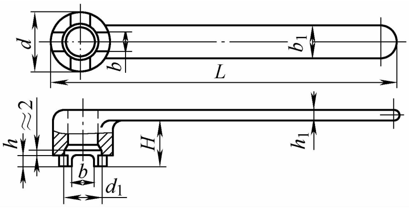
标记示例

d = M16 的面铣刀杆螺钉标记为：

螺钉 M16 JB/T 3411.126—1999

d	b	D_{max}	L_{min}	H	r	适用刀杆直径	d	b	D_{max}	L_{min}	H	r	适用刀杆直径
M8	8	20	16	6	2	16	M16	16	42	26	9	3	32
M10	10	28	18	7	3	22	M20	20	52	30	10	4	40
M12	12	35	22	8		27	M24	24	63	36			50

表 2-91　面铣刀杆螺钉扳手（JB/T 3411.127—1999）　　（单位：mm）



标记示例

公称直径为 16mm 的面铣刀杆螺钉扳手标记为：

扳手 16 JB/T 3411.127—1999

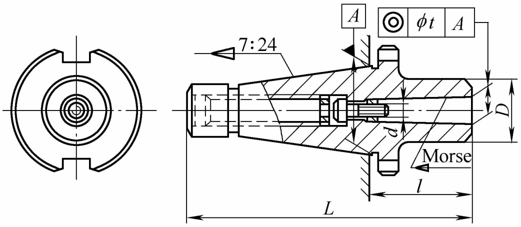
公称直径（螺纹直径）	b 基本尺寸	b 极限偏差 H11	b_1 ≈	d	d_1	L	H	h	h_1 ≈
8	8.1	+0.090 0	12	20	15	180	20	6.2	5
10	10.1		16	28	19	200	25	7.2	6
12	12.1	+0.110 0	20	35	22	225	32	8.5	8
16	16.2		25	40	28	250	36	9.5	
20	20.2	+0.130 0	30	52	35	280	40	11.0	
24	24.2			63	41	315	45		

2. 中间套

锥柄铣刀安装时，当铣刀柄部锥度与主轴锥孔锥度不同时，则必须通过中间套（过渡锥套）来安装铣刀。中间套的外圆锥度和主轴锥孔的锥度相同，而中间套的内孔锥度则应和铣刀锥柄的锥度一致。

常用的中间套有 7∶24 圆锥/莫氏圆锥中间套（见表 2-92）、7∶24 圆锥/莫氏圆锥长型中间套（见表 2-93）、7∶24 圆锥/莫氏圆锥短型中间套（见表 2-94）、7∶24 圆锥中间套（见表 2-95）、莫氏圆锥中间套（见表 2-96）以及快换中间套（见表 2-97）等。

表 2-92　7∶24 圆锥/莫氏圆锥中间套（JB/T 3411.101—1999）（单位：mm）



注：螺钉的形状和固定方法仅作为一个示例。

标记示例

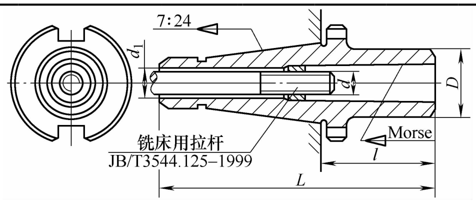
外锥为 7∶24 圆锥 40 号、内锥为莫氏圆锥 2 号的 7∶24 圆锥/莫氏圆锥中间套标记为：中间套　40-2　JB/T 3411.101—1999

7∶24 锥度号	莫氏锥度号	D	d	L_{max}	l_{max} ≈	t
30	1	25	M6	118	50	0.012
	2	32	M10			
40	1	25	M6	143		0.016
	2	32	M10			
	3	40	M12	158	65	
	4	48	M16	188	95	
45	2	32	M10	157	50	
	3	40	M12			
	4	48	M16	182	75	

7∶24 锥度号	莫氏锥度号	D	d	L_{max}	l_{max} ≈	t
50	2	32	M10	187	60	0.020
	3	40	M12	192	65	
	4	48	M16	212	85	
	5	63	M20	247	120	
55	3	40	M12	225	60	
	4	48	M16			
	5	63	M20	260	95	
60				292	85	
	6	80	M24	327	120	

表 2-93 7∶24 圆锥/莫氏圆锥长型中间套（JB/T 3411.102—1999）

（单位：mm）



标记示例

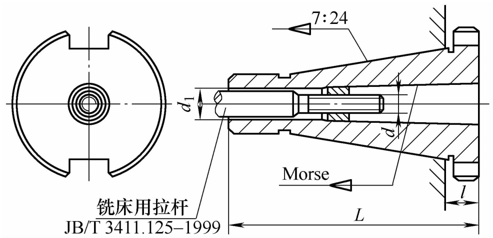
外锥为 7∶24 圆锥 40 号、内锥为莫氏圆锥 4 号的 7∶24 圆锥/莫氏圆锥长型中间套标记为：

中间套 40-4 JB/T 3411.102—1999

7∶24 锥度号	莫氏锥度号	D	d	d_1	L_{max}	$l_{max}\approx$	7∶24 锥度号	莫氏锥度号	D	d	d_1	L_{max}	$l_{max}\approx$
40	3	40	M12	17	158	65	55	4	48	M16	26	225	60
	4	48	M16		188	95		5	63	M20		260	95
45				21	182	75	60				32	292	85
50				26	212	85		6	80	M24		327	120
	5	63	M20		247	120							

表 2-94 7∶24 圆锥/莫氏圆锥短型中间套（JB/T 3411.103—1999）

（单位：mm）



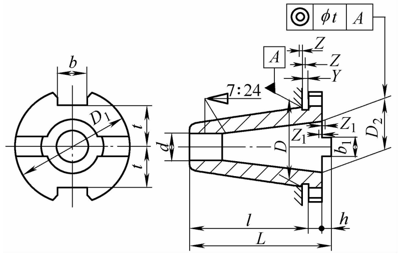
标记示例

外锥为 7∶24 圆锥 40 号、内锥为莫氏圆锥 2 号的 7∶24 圆锥/莫氏圆锥短型中间套标记为：

中间套 40-2 JB/T 3411.103—1999

7∶24 锥度号	莫氏锥度号	d	d_1	L_{max}	l 基本尺寸	l 极限偏差	7∶24 锥度号	莫氏锥度号	d	d_1	L_{max}	l 基本尺寸	l 极限偏差
40	3	M12	17	105	11.6	±0.1	50	4	M16	26	142	15.2	±0.1
45			21	120	13.2		55				182	17.2	
	3	M12						5	M20				
50			26	142	15.0		60			32	226	19.2	

表 2-95 7∶24 圆锥中间套（JB/T 3411.108—1999） （单位：mm）



标记示例

外锥为 50 号、内锥为 40 号的 7∶24 圆锥中间套标记为：

中间套 50-40 JB/T 3411.108—1999

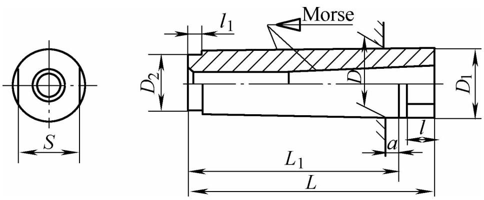
（续）

7:24 锥度号		内锥									外锥							
								b				d		b_1				
外锥	内锥	D	D_1	L_{max}	l_{max}	Y	Z	基本尺寸	极限偏差 H12	t_{max}	D_2	基本尺寸	极限偏差 H12	基本尺寸	极限偏差 h9	h_{max}	Z_1	t_1
40	30	44.45	63	85.0	67	1.6	±0.4	16.1	+0.180 0	22.5	31.75	17.4	+0.180 0	15.9	0 −0.043	8.0	±0.4	0.016
											44.45	25.3	+0.210 0					
45	30	57.15	80	104.0	86	3.2		19.3	+0.210 0	29.0	31.75	17.4	+0.180 0					0.020
	40																	
50	30	69.85	100	125.0	105			25.7		35.3	44.45	25.3	+0.210 0					
	40										57.15	32.4	+0.250 0	19.0	0 −0.052	9.5		
	45			126.5														
55	40	88.90	130	152.0	130	3.2	±0.4	25.7	+0.210 0	45.0	44.45	25.3	+0.210 0	15.9	0 −0.043	8.0	±0.4	0.020
											57.15	32.4	+0.250 0	19.0	0 −0.052	9.5		
	45			153.5							69.85	39.6		25.4	0 −0.043	12.5		
	50			156.5							44.45	25.3	+0.210 0	15.9	0 −0.052	8.0		
60	40	107.95	160	189.0	165					60.0								
	45			190.5							57.15	32.4	+0.250 0	19.0		9.5		
	50			193.5							69.85	39.6		25.4		12.5		

注：1. Z 等于圆锥的大端和通过基本直径 D 的平面之间的最大允许偏差，适用于该平面的两侧面。

2. Z_1 等于在前端面的任何一边，基准平面 D_2 对前端面公称重合位置的最大允许偏差。

表 2-96 莫氏圆锥中间套（JB/T 3411.109—1999） （单位：mm）



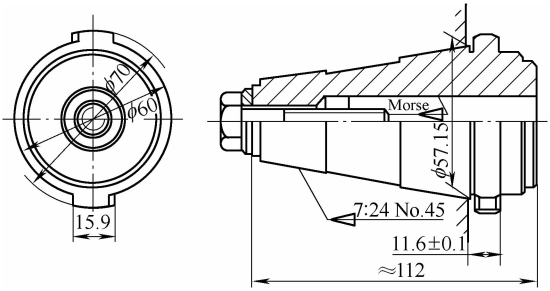
标记示例

外锥为 3 号、内锥为 1 号的莫氏圆锥中间套标记为：

中间套 3-1 JB/T 3411.109—1999

莫氏锥度号		D	$D_1\approx$	D_{2max}	L_{max}	L_1	a	l	l_{1max}	S
外锥	内锥									
3	1	23.825	24.1	19.0	80	65	5	12	7	21
	2									
4	2	31.267	31.6	25.0	90	70	6.5		9	27
	3									
5	2	44.399	44.7	35.7	110	85			10	36
	3									
	4									
5	4	63.348	63.8	51.0	130	105	8	15	16	55
	5									

表 2-97 快换中间套（JB/T 3411.121—1999） （单位：mm）



标记示例

外锥为 7:24 圆锥 45 号、内锥为莫氏圆锥 3 号的快换中间套标记为：

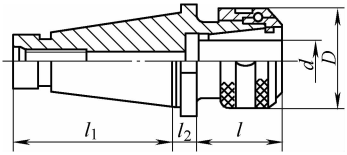
中间套 45-3 JB/T 3411.121—1999

<table>
<tr><th>外 锥</th><th>内 锥</th></tr>
<tr><td>7:24 锥度号</td><td>莫氏锥度号</td></tr>
<tr><td rowspan="3">45</td><td>2</td></tr>
<tr><td>3</td></tr>
<tr><td>4</td></tr>
</table>

3. 铣夹头（JB/T 6350—2008）

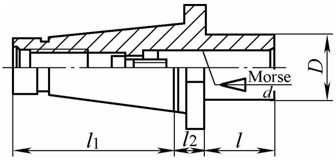
直柄铣刀、削平柄铣刀等在安装时，需使用各种不同的铣夹头。常用的铣夹头有弹性铣夹头（见表 2-98）、锥柄铣刀铣夹头（见表 2-99）、短锥柄铣刀铣夹头（见表 2-100）、快换铣夹头（见表 2-101）、削平柄铣刀铣夹头（见表 2-102）、滚针铣夹头（见表 2-103）、圆锥柄铣夹头（见表 2-104）等。

表 2-98 弹性铣夹头 （单位：mm）



<table>
<tr><th rowspan="2">最大夹持孔直径 d</th><th rowspan="2">夹持范围</th><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">l</th><th rowspan="2">l_1</th><th rowspan="2">l_2</th><th colspan="6">圆锥柄型号</th></tr>
<tr><th colspan="4">7:24</th><th colspan="2">莫氏</th></tr>
<tr><td>16</td><td>4 ~ 16</td><td>42</td><td>50</td><td rowspan="3" colspan="2">见表 2-104</td><td>XT</td><td>30</td><td rowspan="3">KT</td><td>30</td><td rowspan="3">MS
QMS</td><td>3</td></tr>
<tr><td>32</td><td>6 ~ 32</td><td>70</td><td>65</td><td rowspan="2">XT
JT</td><td>40
45</td><td rowspan="2">40
45</td><td>4</td></tr>
<tr><td>40</td><td>6 ~ 40</td><td>94</td><td>80</td><td>50</td><td>5</td></tr>
</table>

表 2-99 锥柄铣刀铣夹头 (单位：mm)



夹持孔圆锥号 d		D	l	l_1	l_2	圆锥柄型号 (7:24)			
MS	1	25	35	见表 2-104		XT JT	40	XT KT	30
	2	32	50				45		40
	3	40	70				50		45
	4	50					40 45 50		40 45
	5	63	85				45 50		45

表 2-100 短锥柄铣刀铣夹头 (单位：mm)

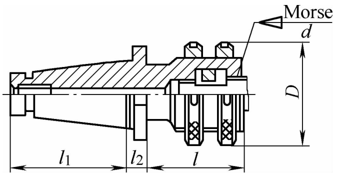
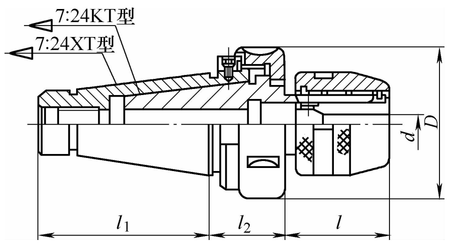
	最大夹持孔圆锥号 d		夹持范围	D	l	l_1	l_2	圆锥柄型号 7:24				圆锥柄型号 莫氏	
	短莫氏圆锥	3	2，3	72	50	见表 2-104		XT XT	30 40 45	KT	30 40 45	QMS	3 4
		4	2～4	78	63			JT	50				5

表 2-101 快换铣夹头 (单位：mm)

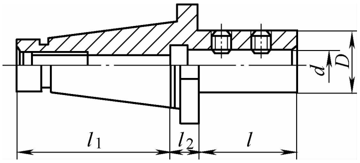


主轴夹持孔圆锥号		d	l	D	l_1	l_2	圆锥柄型号 (7:24)	
KT	30	见表 2-98 表 2-99、 表 2-100、 表 2-102、 表 2-103		80	见表 7-50	35	XT	40
	40			108		45		50
	45							

注：快换铣夹头由主体与各种形式的带 KT 型锥柄的铣夹头配套组成，例如滚针快换铣夹头、弹性快换铣夹头、削平柄铣刀快换铣夹头、锥柄铣刀快换铣夹头、短锥柄铣刀快换铣夹头等。

表 2-102 削平柄铣刀铣夹头

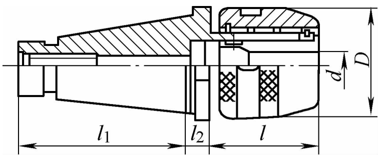
(单位:mm)



<table>
<tr><th rowspan="2">夹持孔
直径 d</th><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">l</th><th rowspan="2">l_1</th><th rowspan="2">l_2</th><th colspan="6">圆锥柄型号</th></tr>
<tr><th colspan="4">7:24</th><th colspan="2">莫氏</th></tr>
<tr><td>6</td><td>25</td><td rowspan="4">30</td><td colspan="2" rowspan="11">见表
2-104</td><td rowspan="11">XT
JT</td><td rowspan="6">40
45
50</td><td rowspan="8">XT
KT</td><td rowspan="6">30
40
45</td><td rowspan="8">QMS</td><td rowspan="6">3
4
5</td></tr>
<tr><td>8</td><td>28</td></tr>
<tr><td>10</td><td>35</td></tr>
<tr><td>12</td><td>42</td></tr>
<tr><td>16</td><td>48</td><td>40</td></tr>
<tr><td>20</td><td>52</td><td>50</td></tr>
<tr><td>25</td><td>65</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="2">40
45
50</td><td rowspan="2">40
45</td><td rowspan="2">4
5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>72</td></tr>
<tr><td>40</td><td>90</td><td>70</td><td rowspan="2">45
50</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td><td>80</td></tr>
<tr><td>63</td><td>130</td><td>90</td><td>50</td></tr>
</table>

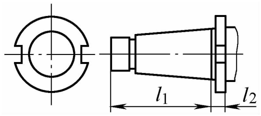
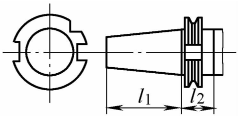
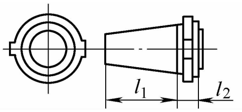
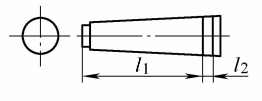
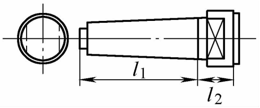
表 2-103 滚针铣夹头

(单位:mm)



<table>
<tr><th rowspan="2">最大夹持
孔直径 d</th><th rowspan="2">夹持
范围</th><th rowspan="2">D</th><th rowspan="2">l</th><th rowspan="2">l_1</th><th rowspan="2">l_2</th><th colspan="6">圆锥柄型号</th></tr>
<tr><th colspan="4">7:24</th><th colspan="2">莫氏</th></tr>
<tr><td>16</td><td>4 ~ 16</td><td>54</td><td>56</td><td colspan="2" rowspan="4">见表
2-104</td><td>XT</td><td>30</td><td rowspan="4">KT</td><td>30</td><td rowspan="4">MS
QMS</td><td>3</td></tr>
<tr><td>25</td><td>6 ~ 25</td><td>70</td><td>70</td><td rowspan="3">XT
JT</td><td rowspan="2">40
45
50</td><td rowspan="3">40
45</td><td rowspan="2">4
5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">10 ~ 32</td><td rowspan="2">90</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>50</td><td>5</td></tr>
</table>

表 2-104 圆锥柄铣夹头 （单位：mm）

圆锥柄				简图	尺寸	
锥度	型号		标准号		l_1	l_2
7:24锥度	XT	30	GB/T 3837—2001		68.4	9.6
		40			93.4	11.6
		45			106.8	13.2
		50			126.8	15.2
	JT	40	GB/T 10944.1—2006		68.40	35
		45			82.70	
		50			101.75	
	KT①	30	—		48.4	—
		40			65.4	
		45			82.8	
莫氏锥度	MS	3	GB/T 1443—1996		81	5
		4			102.5	6.5
		5			129.5	
	QMS	3	GB/T 4133—1984		81	23
		4			102.5	29.5
		5			129.5	34.5

注：XT 表示机床用 7:24 锥柄，JT 表示自动换刀机床用 7:24 锥柄，KT 表示快换夹头用 7:24 锥柄，MS 表示工具柄自锁圆锥莫氏锥柄，QMS 表示强制传动莫氏锥柄。

① KT 型圆锥柄只限于与快换铣夹头主体配套使用。

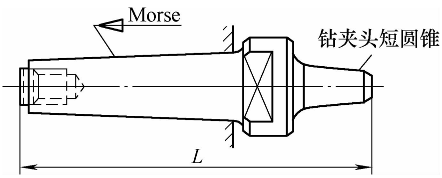
4. 铣床用钻夹头接杆

铣床用钻夹头接杆见表 2-105，快换钻夹头接杆见表 2-106。

表 2-105 铣床用钻夹头接杆

（JB/T 3411.120—1999）

（单位：mm）



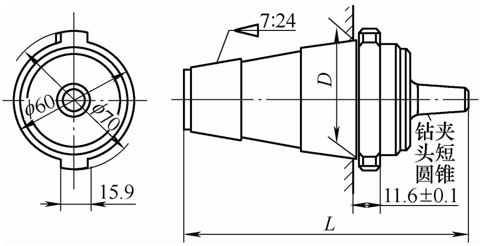
（续）

莫氏锥度号	钻夹头短圆锥号	L
3	D3	129
	D4	136
	D5	144
	D6	153
4	D3	157
	D4	164
	D5	172
	D6	181
5	D3	189
	D4	196
	D5	204
	D6	213

表 2-106　快换钻夹头接杆

（JB/T 3411.122—1999）

（单位：mm）



7:24 锥度号	钻夹头短圆锥号	D	$L\approx$
45	D4	57.15	144

2.1.10　铣刀的刃磨及检测

当铣刀磨损量达到规定的磨钝标准时（见表 2-14），就必须及时刃磨，以恢复铣刀的切削性能。对于铲齿铣刀，由于其后刀面是经铲磨的成形面，因此只刃磨其前刀面；而尖齿铣刀刃磨时，一般只需刃磨后刀面。当需要加大齿槽的容屑空间或要改变其前角的大小时，也会刃磨其前刀面。

1. 铣刀刃磨的要求

铣刀刃磨后，应达到的基本要求如下：

1）铣刀切削部分的几何形状正确、切削刃锋利。

2）切削刃的径向、轴向振摆不超过规定的公差。

3）刃磨后的刀面达到规定的表面粗糙度要求。

4）刀具表面不允许出现烧伤或裂纹。

铲齿铣刀的刃磨几何角度及刃磨精度要求见表 2-107，尖齿铣刀的刃磨几何角度及刃磨精度要求见表 2-108。

表 2-107　铲齿铣刀的刃磨几何角度及刃磨精度要求

铣刀名称及规格/mm		刃磨部位	前角 γ_o	刃磨要求			
				周刃的径向跳动公差/mm		侧刃的法向跳动公差/mm	在切深范围内前刀面的非径向性公差/mm
				一转	相邻齿		
凹、凸半圆铣刀	$R\leqslant6$	前刀面	5°±1°	0.06	—	—	—
	$R>6\sim12$			0.08	—		
齿轮铣刀	$m=0.3\sim0.5$	前刀面	0°	0.06	0.04	0.06	0.03
	$m>0.5\sim1$						0.05
	$m>1\sim2.5$						0.08
	$m>2.5\sim6$			0.08	0.06	0.08 0.10	0.12
	$m>6\sim10$			0.10	0.07		0.16
	$m>10\sim16$						0.25

注：刀齿前刀面的表面粗糙度值 Ra 不大于 0.8μm。

表 2-108 尖齿铣刀的刃磨几何角度及刃磨精度要求

铣刀名称及规格/mm		刃磨部位	刃磨几何角度					刃 磨 要 求				
			法前角 $\gamma_n \pm 2°$	周(主)刃后角 $\alpha_o \pm 2°$	刃倾角 λ_s 或螺旋角 ω	端(副)刃偏角 κ_r'	端(副)刃后角 $\alpha_o' \pm 2°$	周(主)刃径向圆跳动公差/mm		端(副)刃轴向跳动公差/mm	周(主)刃外径锥度公差/mm	刃齿后刀面允许的白刃宽度/mm
								一转	相邻齿			
尖齿槽铣刀	$D \leqslant 80$	周齿后刀面	15°	12°	—	1°~1°30′	—	0.04	0.02	—	0.03	≤0.05
	$D=100$							0.05	0.025			
锯片铣刀	$D \leqslant 125$	周齿后刀面	$B<3$ 5° $B \geqslant 3$ 8°~10°	16° $D \geqslant 160$ 的粗齿锯片 14°	—	15′~40′(最小)	—	0.10	0.06	—	—	≤0.05
	$D>125$							0.12	0.08			
直齿三面刃铣刀	$D \leqslant 80$	周齿及端齿后刀面	15°	12°	—	—	6°	0.05	0.025	0.03	0.03	≤0.05
	$D=100$							0.06	0.03	0.04		
错齿三面刃铣刀	$D \leqslant 80$	周齿及端齿后刀面	15°	12°	$B \leqslant 14$ 15° $B>14$ 20°	—	6°	0.05	0.025	0.03	0.03	≤0.05
	$D=100$							0.06	0.03	0.04		
镶齿三面刃铣刀	$D \leqslant 100$	周齿及端齿后刀面	15°	10°	$B \leqslant 18$ 8° $B>18$ 15°	—	刀齿端面伸出量 $h_1 \leqslant 2$ 4°~7° $h_1>2$ 6°~9°	0.10	0.05	0.04	—	≤0.05
	$D>$ 100~160							0.12	0.06	0.05		
	$D>160$							0.15	0.08	0.06		

（续）

铣刀名称及规格/mm		刃磨部位	刃磨几何角度					刃磨要求				
			法前角 $\gamma_n \pm 2°$	周(主)刃后角 $\alpha_o \pm 2°$	刃倾角 λ_s 或螺旋角 ω	端(副)刃偏角 κ_r'	端(副)刃后角 $\alpha_o' \pm 2°$	周(主)刃径向圆跳动公差/mm		端(副)刃轴向跳动公差/mm	周(主)刃外径锥度公差/mm	刀齿后刀面允许的白刃宽度/mm
								一转	相邻齿			
粗齿立铣刀	$D \leq 12$	周齿及端齿后刀面、端齿前刀面	周刃15° 端刃6°	$D \leq 4$时，为18° $D = 4 \sim 6$时，为16° $D > 6$时，为14°	周刃 40°～45° 端刃 10°±2°	3°±2°	10°	—	0.015	0.03	0.02	≤0.10
	$D > 12 \sim 20$							—	0.02	0.04		
	$D > 20 \sim 28$							—	0.025			
	$D > 28$							0.06	0.03			
细齿立铣刀	$D \leq 12$	周齿及端齿后刀面、端齿前刀面	周刃15° 端刃6°	$D \leq 4$时，为18° $D > 4 \sim 6$时，为16° $D > 6$时，为14°	周刃 30°～35° 端刃 10°±2°	3°±2°	10°	0.03	0.015	0.04	0.02	≤0.10
	$D > 12 \sim 20$							0.04	0.02			
	$D > 20 \sim 28$							0.05	0.025			
	$D > 28$							0.06	0.03			
键槽铣刀	$D \leq 5$	周齿及端齿后刀面、端齿前刀面	5°	12°	周刃20° 端刃0°	1°30′	16°	0.02		$D \leq 18$ 0.03 $D > 18$ 0.04	0.01	≤0.05
	$D > 5 \sim 20$		10°	14°		2°	14°					
	$D > 20$						12°					
半圆键槽铣刀		周齿后刀面	$B \leq 3$ 5° $B > 3$ 10°	15°	$B \leq 5$ 0° $B > 5$ 12°	$D \leq 13$ >15′ $D > 13 \sim 28$ >20′ $D > 28$ >30′	—	0.05	0.03	—	—	≤0.05

（续）

铣刀名称及规格/mm		刃磨部位	刃磨几何角度					刃磨要求				
			法前角 γ_n ±2°	周（主）刃后角 α_o ±2°	刃倾角 λ_s 或螺旋角 ω	端（副）刃偏角 κ_r'	端（副）刃后角 α_o' ±2°	周（主）刃径向圆跳动公差/mm 一转	周（主）刃径向圆跳动公差/mm 相邻齿	端（副）刃轴向跳动公差/mm	周（主）刃外径锥度公差/mm	刀齿后刀面允许的白刃宽度/mm
T形槽铣刀		周齿后刀面	10°	15°	10°	1°30′～2°	—	0.05	0.03	—	—	≤0.10
圆柱形铣刀		周齿后刀面	15°	12°	粗齿 40°～45° 细齿 30°～35°	—	—	0.06	0.03	—	0.03	
套式面铣刀	D≤80	周齿及端齿后刀面、端齿前刀面	15°	12°	周刃 15°～20° 端刃 15°30′	1°～2°	8°	0.05	—	0.03	0.05	≤0.05
	D=100							0.06	—	0.04		
镶齿套式面铣刀	D=80	周齿及端齿后刀面	15°	12°	10°	0°	8°	0.08	—	0.04	—	≤0.10
	D>80～160							0.10	—	0.05		
	D>160							0.12	—	0.06		
单角铣刀		周齿、锥面齿及端齿后刀面	10°（周刃）	周刃16° 锥面刃14°	—	1°～2°	8°	周刃0.07 锥面刃法向0.05	—	0.03	—	≤0.05
双角铣刀	D≤75	周齿及锥面齿后刀面	10°（周刃）	周刃16° 大角度锥面刃13° 小角度锥面刃6°	—	—	—	周刃0.07 锥面刃法向0.05	—	—	—	≤0.05
	D>75							周刃0.10 锥面刃法向0.06	—	—		

注：1. 铣刀前刀面的表面粗糙度值 Ra 不大于0.8μm，后刀面的表面粗糙度值 Ra 不大于0.8～0.4μm。
2. 角度铣刀的角度允差为±20′。

2. 刃磨铣刀的设备与工具

常用的刃磨铣刀的设备有万能工具磨床和专用刃磨机床。使用的工具为刃磨支片。为了避免刃磨时铣刀刃部产生变形，而影响铣刀切削部分的几何形状，或造成刀齿不等分等缺陷，常使用支片支承在刃磨刀具的刀齿上。常用的铣刀刃磨支片见图 2-50。

图 2-50a 所示为直槽支片，用于刃磨直槽刀具，如直齿三面刃铣刀等。使用时，支片装在弹簧支杆上，然后一同装到工作台或万能夹头上的支架上。图 2-50b 所示为细齿支片，用于刃磨细齿铣刀，如锯片铣刀等。支片的安装方法与直槽支片相同。图 2-50c 所示为斜槽支片，用于刃磨圆柱形铣刀等斜槽刀具。使用时，支片装在固定支杆上，并一同装在磨头架上的支架上。图 2-50d 所示为螺旋槽支片，用于刃磨螺旋槽立铣刀等螺旋槽刀具。支片的安装方法与斜槽支片相同。

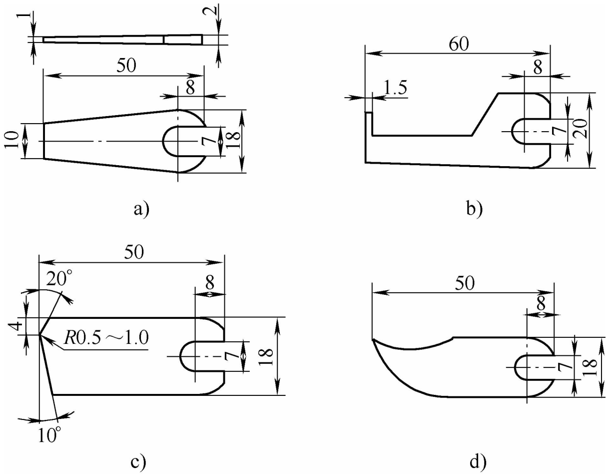


图 2-50 铣刀刃磨支片

a）直槽支片 b）细齿支片 c）斜槽支片 d）螺旋槽支片

刃磨铣刀的砂轮必须适应被磨刀具材料的性质和刃磨要求。通常，刃磨高速钢铣刀时，常选用白刚玉砂轮，如选用铬刚玉则效果更好。刃磨超硬高速钢刀具时，一般选用单晶刚玉砂轮，如采用立方氮化硼（CBN）砂轮，则可大大提高刃磨质量和生产率。刃磨硬质合金铣刀，粗磨时常用绿色碳化硅砂轮，然后用金刚石砂轮进行精磨。刃磨刀具砂轮特性的选择见表 2-109。

刃磨铣刀前刀面常采用碟形砂轮，刃磨后刀面则采用碗形、杯形砂轮。由于刃磨刀具时一般不使用切削液，故防止刀齿表面烧伤、裂纹尤为重要。因此，除了应及时修整砂轮和选择适当的磨削用量外，在刃磨刀具后刀面时，还可采用开槽砂轮以实现间断磨削，以降低磨削热、改善刀具的散热条件。

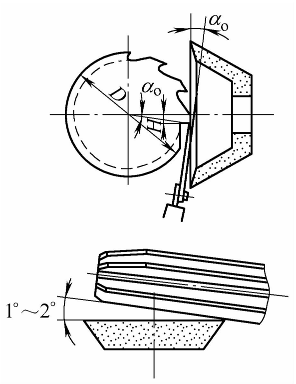
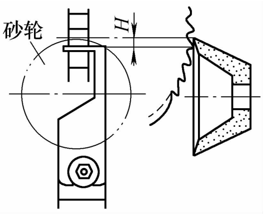
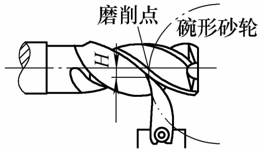
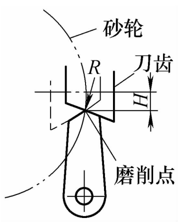
3. 铣刀的刃磨方法及其调整

常用铣刀的刃磨方法及其调整见表 2-110。

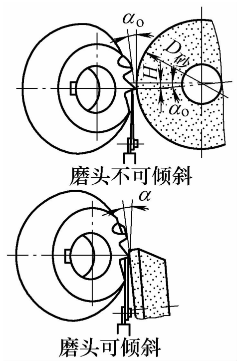
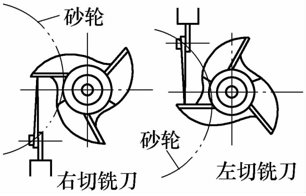
表 2-109 刃磨刀具砂轮特性的选择

刀具材料	磨料/代号	粒度	硬度	结合剂/代号
高速钢刀具	白刚玉/WA	粗磨 46#～60# 精磨 60#～100#	H～L	陶瓷结合剂/A
	铬刚玉/PA			
	单晶刚玉/SA			
硬质合金刀具	绿色碳化硅/GC	60#～120#	H～J	陶瓷结合剂/A
	人造金刚石/SCD	100/120～230/270	—	树脂结合剂/S
	天然金刚石/NC			

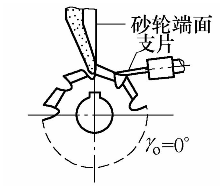
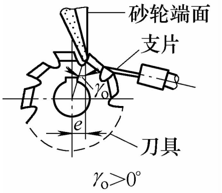
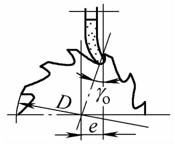
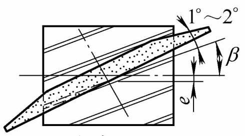
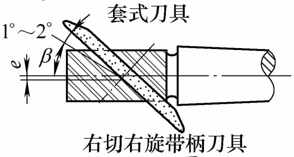
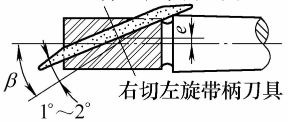
表 2-110 铣刀的刃磨方法及其调整

序号		铣刀类型及刃磨部位	图示	刃磨方法及其调整
(1)圆柱面周齿后刀面	1)	直槽粗齿刀具（尖齿槽铣刀、直齿三面刃铣刀等）		1）采用碗形（或杯形）砂轮端面进行磨削，以防止后刀面形成凹形 2）铣刀可在顶尖架上或通过心轴进行安装。为减少砂轮与刀具时接触面积，可转动磨头架，使砂轮端面与刀具轴线成 1°～2°倾角 3）支架固定在工作台上，支片支承位置应尽量靠近刃口。支片顶点应比刀具轴线低距离 $H=\frac{D}{2}\sin\alpha_o$。式中，$D$ 为铣刀直径，α_o 为铣刀后角
	2)	直槽细齿刀具（锯片铣刀、切口铣刀等）		1）这类刀具的齿槽空间较小，应采用细齿支片（见图 2-50b） 2）刃磨时，为避免损坏相邻刀齿，砂轮外圆必须降低到刀具中心以下 3）刃磨及其他调整方法与直槽粗齿铣刀的相同
	3)	螺旋槽及斜槽铣刀（立铣刀、键槽铣刀、套式面铣刀）等		1）支片必须采用相应的螺旋槽或斜槽支片（见图 2-50d、c），而支架应固定在磨头架上 2）砂轮的磨削点应和支片对铣刀前刀面的支承点重合（见图示） 3）刃磨带柄铣刀时，支片伸出砂轮外部分的长度不应超过 1～2mm，以免磨不到槽根 4）刃磨及其余调整和 H 值的计算方法与刃磨直槽粗齿刀具的相同
	4)	错齿刀具（错齿三面刃铣刀、错齿锯片铣刀、T 形槽铣刀等）		1）为了使刀具的左、右斜向两刀齿后角一次磨成，应选用两侧斜度相同的斜槽支片，支片顶点的圆弧 R 应尽可能小些，砂轮的磨削点应和支片顶点重合（见图示） 2）刃磨及其余调整方法与刃磨螺旋槽（或斜槽）的基本相同

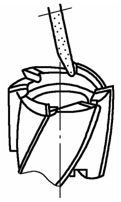
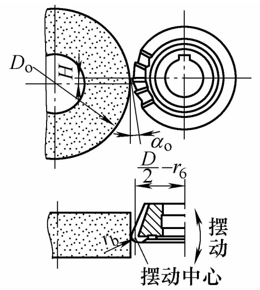
（续）

序　号	铣刀类型及刃磨部位	图　　示	刃磨方法及其调整
(2) 锥面周齿后刀面	锥度立铣刀、角度铣刀等		1）铣刀可用顶尖架或万能夹头装夹，然后将磨床工作台或万能夹头底盘转动一刀具锥角的斜角，使锥面母线与工作台纵向移动方向重合 2）无论是直槽或螺旋槽铣刀，支片的支承点应与刀具轴线处于同一水平面上，使砂轮的磨削点与支承点重合，以保证刀具刃口落在锥面上，而使刃口各点的后角相同 3）支片的型式应按刀具齿槽的型式选择，支架需固定在磨头夹上 4）当磨头不可倾斜时，应用平行砂轮的外圆磨削，砂轮中心应比铣刀中心高 H 距离 $H=D_{砂}\ \sin\alpha_o/2$。式中，$D_{砂}$ 为砂轮直径，α_o 为铣刀后角。当在磨头可倾斜的磨床上磨削时，可用碗形砂轮的端面磨削，磨头倾斜角应等于铣刀后角 α_o
(3) 铣刀端齿后刀面	立铣刀、三面刃铣刀、单角铣刀、键槽铣刀、套式面铣刀等		1）铣刀可通过心轴或直接安装在万能夹头上。其调整方法是：对于右切铣刀，应先将夹头底盘回转（$90°-\kappa_r'$）角（κ_r' 为铣刀端刃的偏角），然后在垂直平面内使夹头主轴前倾一个铣刀的端刃后角 α_o；对于左切铣刀，则夹头主轴前端应向上抬起一个端刃后角 α_o 2）可选用直齿支片，支承在被刃磨刀齿的外缘，并使端刃处于水平位置。对于左切铣刀，支架可固定在万能支架顶部；而右切铣刀可固定在磨床工作台上 3）采用碗形砂轮的端面进行磨削，砂轮直径的选择及磨头架高低位置的调整，应注意不要磨及相邻的刀齿

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">序 号</th><th>铣刀类型及刃磨部位</th><th>图 示</th><th>刃磨方法及其调整</th></tr>
<tr><td colspan="2">（4）铲齿铣刀前刀面</td><td>齿轮铣刀、凸圆弧铣刀、凹圆弧铣刀等</td><td>
</td><td>1）一般用碟形砂轮的端面刃磨，刃磨前角 $\gamma_o=0°$ 的铲齿成形铣刀，磨削时砂轮平面应通过铣刀轴线
2）当刃磨前角 $\gamma_o>0°$ 的铲齿成形铣刀时，前角 γ_o 要通过调整砂轮端面对刀具中心的偏距 e 来获得。$e=\frac{D}{2}\sin\gamma_o$。式中，$D$ 为铣刀直径，γ_o 为刀具前角
3）刃磨时，铣刀所磨刀齿背面应用支片支承，要求等分准确的铣刀，应采用分度盘来进行分度
4）砂轮的进给需通过调节支片位置的方法进行，不能移动横向工作台，以免影响前角的大小</td></tr>
<tr><td rowspan="2">（5）圆柱面周齿前刀面</td><td>1）</td><td>直槽铣刀（直齿三面刃铣刀、尖齿槽铣刀、锯片铣刀等）</td><td></td><td>1）一般用碟形砂轮的端面刃磨。为减小磨削时的接触面积，应将砂轮端面修整成凹形的锥面
2）铣刀前角 γ_o 是通过调整砂轮端面对刀具中心的偏距 e 来获得的，$e=\frac{D}{2}\sin\gamma_o$。式中，$D$ 为铣刀直径，γ_o 为铣刀前角
3）刃磨时，用手握住刀具（不用支片支承），使前刀面靠向砂轮端面，推动工作台纵向移动进行磨削。当磨到刀齿两端时，为避免刀齿两端产生塌角现象，应逐渐减小刀具对砂轮的压力</td></tr>
<tr><td>2）</td><td>螺旋槽铣刀（立铣刀、套式面铣刀、圆柱铣刀等）</td><td>

</td><td>1）通常用碟形砂轮的端面进行刃磨。砂轮对铣刀中心的偏距 e 应根据试磨后实测的刀具前角来调整确定
2）对于套式刀具，磨头架的回转角应比刀具的螺旋角 β 大 1°～2°。对于带柄刀具，为了能保证磨至槽根，磨右切右旋刀具时，磨头架的回转角应比刀具螺旋角 β 大 1°～2°；而磨右切左旋刀具时，磨头架的回转角应比刀具螺旋角 β 小 1°～2°。而磨左切螺旋带柄刀具时，则与上述相反</td></tr>
</table>

（续）

序　号	铣刀类型及刃磨部位	图　　示	刃磨方法及其调整
(6) 铣刀端齿前刀面	立铣刀、键槽铣刀、三面刃铣刀、单角铣刀、套式面铣刀等		1）采用碟形砂轮的端面刃磨。刀具装夹在万能夹头上，调整时先将夹头底盘回转 ω_1 角，再将夹头主轴抬起 ω_2 角，最后转动夹头主轴，使铣刀被磨刀齿的端刃与砂轮端面平行即可。ω_1 和 ω_2 的计算公式如下： $\tan\gamma'_n=\tan\gamma'_o\cos\lambda'_s$ $\tan\omega_1=\tan\gamma'_n/\sin\theta$ $\sin\omega_2=\cos\gamma'_n\cos\theta$ 式中　γ'_n——端刃法前角 γ'_o——端刃前角，对于三面刃铣刀、面铣刀，其值等于周刃的螺旋角 ω λ'_s——端刃刃倾角，对于三面刃铣刀、面铣刀，其值等于周刃主前角 θ——端齿的槽底角 2）刃磨时，可用支片支承刀具，也可根据万能夹头主轴刻度盘分度刃磨（主轴必须锁紧）
(7) 角度铣刀的刀尖圆弧	单角铣刀、双角铣刀等		1）采用专用的刃磨夹具，铣刀在夹具上安装时，其轴线应和夹具摆动轴线相垂直，并相距 $\frac{D}{2}-\gamma_\varepsilon$。式中，$D$ 为铣刀直径，γ_ε 为刀尖圆弧半径 2）被磨刀齿的刀尖应与铣刀轴线处于同一水平面上，并用支片支承。砂轮中心相对铣刀中心下降距离为 H（$H=\frac{D_{砂}}{2}\sin\alpha$。式中，$D_{砂}$ 为砂轮直径，α_o 为铣刀后角），以保证铣刀后角 α。 3）铣刀左右摆动的范围，应注意使刀尖圆弧与两侧锥面或端面切削刃的光滑连接

4. 铣刀的检测

（1）铣刀前角的测量

1）用多刃角尺测量。由图 2-51a 可见，测量时把多刃角尺的量块 1 和靠尺 5 分别放在铣刀相邻的两个刀齿上，量尺 2 与铣刀的轴线垂直，转动扇形刻度游标 3，使量尺 2 的测量面与刀齿的前刀面全部接触，按铣刀的齿数读出半圆尺 4 上的齿数刻线所对准的游标 3 的刻度，即为铣刀前角的度数值。

2）用高度游标卡尺测量。由图 2-51b 可见，测量时铣刀顶在两顶尖间，并测出尺寸 A，让高度游标卡尺的测量面与刀齿前刀面完全贴合，读出尺寸 B，则铣刀的前角 γ_o 可由下式求出：

$$\sin\gamma_o=\frac{2\ (A-B)}{D}$$

式中　A——铣刀中心距离平板的高度（mm）；

B——铣刀前刀面距离平板的高度（mm）；

D——铣刀直径（mm）；

γ_o——铣刀前角（°）。

测量螺旋槽铣刀的前角时，测出的前角是端剖面前角 γ_o，垂直于螺旋刃剖面上的法前角 γ_n，可用下式换算求得：

$$\tan\gamma_n = \tan\gamma_o \cos\omega$$

式中 γ_n——铣刀的法前角（°）；

γ_o——铣刀的端剖面前角（°）；

ω——铣刀刀齿的螺旋角（°）。

（2）铣刀后角的测量

1）用多刃角尺测量。测量方法与测量前角的方法相似。由图 2-52a 可见，将量块 1 的工作面与铣刀的后刀面完全贴合，即可从扇形刻度游标 2 上读出后角的度数。

2）用高度游标卡尺测量。由图 2-52b 可见，在测出尺寸 A、C 后，可按下式计算出后角：

$$\sin\alpha_o = \frac{2(C-A)}{D}$$

式中 A——铣刀中心距离平板的高度（mm）；

C——铣刀刀齿顶部距离平板的高度（mm）；

D——铣刀直径（mm）；

α_o——铣刀后角（°）。

（3）铣刀的外观检查 刃磨后铣刀的外观检查，包括切削刃上的烧伤、裂纹、毛刺、卷刃、崩刃等缺陷，以及刀齿的前、后刀面的表面粗糙度（目测或用粗糙度样板进行比较）。

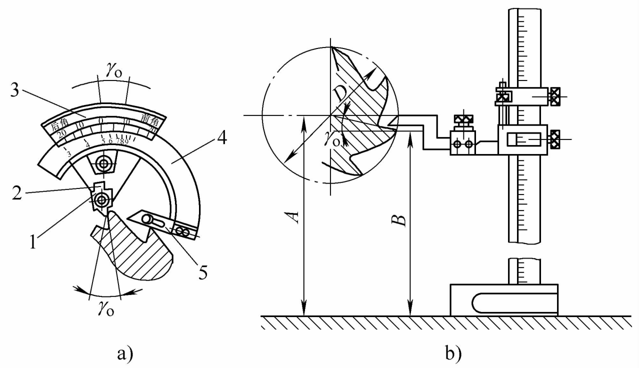


图 2-51 铣刀前角的测量

a）用多刃角尺测量 b）用高度游标卡尺测量

1—量块 2—量尺 3—游标 4—半圆尺 5—靠尺

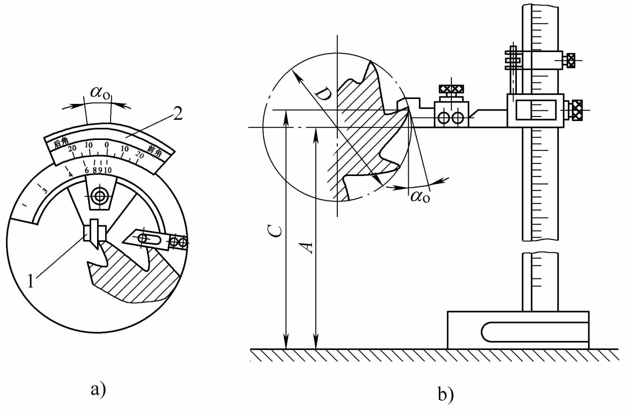


图 2-52 铣刀后角的测量

a）用多刃角尺测量 b）用高度游标卡尺测量

1—量块 2—扇形刻度游标

2.2 钻头

2.2.1 粗直柄小麻花钻

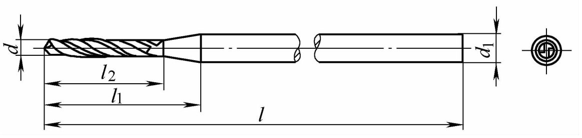
粗直柄小麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-111。

2.2.2 直柄短麻花钻

直柄短麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-112。

表 2-111 粗直柄小麻花钻的结构与基本尺寸

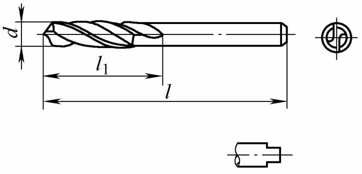
（GB/T 6135.1—2008） （单位：mm）



d	l	l_1	l_2	d_1	d	l	l_1	l_2	d_1
0.10	20	1.2	0.7	1	0.23	20	2.5	1.8	1
0.11					0.24				
0.12					0.25		3.2	2.2	
0.13		1.5	1.0		0.26				
0.14					0.27				
0.15					0.28				
0.16		2.2	1.4		0.29				
0.17					0.30				
0.18					0.31		3.5	2.8	
0.19					0.32				
0.20		2.5	1.8		0.33				
0.21					0.34				
0.22					0.35				

表 2-112 直柄短麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 6135.2—2008）

（单位：mm）



d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
0.50	20	3	3.20	49	18	6.00	66	28	8.80	84	40
0.80	24	5	3.50	52	20	6.20	70	31	9.00		
1.00	26	6	3.80	55	22	6.50			9.20		
1.20	30	8	4.00			6.80	74	34	9.50		
1.50	32	9	4.20			7.00			9.80	89	43
1.80	36	11	4.50	58	24	7.20			10.00		
2.00	38	12	4.80	62	26	7.50			10.20		
2.20	40	13	5.00			7.80	79	37	10.50		
2.50	43	14	5.20			8.00			10.80	95	47
2.80	46	16	5.50	66	28	8.20			11.00		
3.00			5.80			8.50			11.20		

（续）

<table>
<tr><th>d</th><th>l</th><th>l_1</th><th>d</th><th>l</th><th>l_1</th><th>d</th><th>l</th><th>l_1</th><th>d</th><th>l</th><th>l_1</th></tr>
<tr><td>11.50</td><td rowspan="2">95</td><td rowspan="2">47</td><td>17.75</td><td rowspan="2">123</td><td rowspan="2">62</td><td>24.00</td><td rowspan="5">151</td><td rowspan="5">75</td><td>30.25</td><td rowspan="6">174</td><td rowspan="6">87</td></tr>
<tr><td>11.80</td><td>18.00</td><td>24.25</td><td>30.50</td></tr>
<tr><td>12.00</td><td rowspan="6">102</td><td rowspan="6">51</td><td>18.25</td><td rowspan="4">127</td><td rowspan="4">64</td><td>24.50</td><td>30.75</td></tr>
<tr><td>12.20</td><td>18.50</td><td>24.75</td><td>31.00</td></tr>
<tr><td>12.50</td><td>18.75</td><td>25.00</td><td>31.25</td></tr>
<tr><td>12.80</td><td>19.00</td><td>25.25</td><td rowspan="6">156</td><td rowspan="6">78</td><td>31.50</td></tr>
<tr><td>13.00</td><td>19.25</td><td rowspan="4">131</td><td rowspan="4">66</td><td>25.50</td><td>31.75</td><td rowspan="5">180</td><td rowspan="5">90</td></tr>
<tr><td>13.20</td><td>19.50</td><td>25.75</td><td>32.00</td></tr>
<tr><td>13.50</td><td rowspan="3">107</td><td rowspan="3">54</td><td>19.75</td><td>26.00</td><td>32.50</td></tr>
<tr><td>13.80</td><td>20.00</td><td>26.25</td><td>33.00</td></tr>
<tr><td>14.00</td><td>20.25</td><td rowspan="4">136</td><td rowspan="4">68</td><td>26.50</td><td>33.50</td></tr>
<tr><td>14.25</td><td rowspan="4">111</td><td rowspan="4">56</td><td>20.50</td><td>26.75</td><td rowspan="6">162</td><td rowspan="6">81</td><td>34.00</td><td rowspan="4">186</td><td rowspan="4">93</td></tr>
<tr><td>14.50</td><td>20.75</td><td>27.00</td><td>34.50</td></tr>
<tr><td>14.75</td><td>21.00</td><td>27.25</td><td>35.00</td></tr>
<tr><td>15.00</td><td>21.25</td><td rowspan="5">141</td><td rowspan="5">70</td><td>27.50</td><td>35.50</td></tr>
<tr><td>15.25</td><td rowspan="4">115</td><td rowspan="4">58</td><td>21.50</td><td>27.75</td><td>36.00</td><td rowspan="4">193</td><td rowspan="4">96</td></tr>
<tr><td>15.50</td><td>21.75</td><td>28.00</td><td>36.50</td></tr>
<tr><td>15.75</td><td>22.00</td><td>28.25</td><td rowspan="8">168</td><td rowspan="8">84</td><td>37.00</td></tr>
<tr><td>16.00</td><td>22.25</td><td>28.50</td><td>37.50</td></tr>
<tr><td>16.25</td><td rowspan="4">119</td><td rowspan="4">60</td><td>22.50</td><td rowspan="5">146</td><td rowspan="5">72</td><td>28.75</td><td>38.00</td><td rowspan="6">200</td><td rowspan="6">100</td></tr>
<tr><td>16.50</td><td>22.75</td><td>29.00</td><td>38.50</td></tr>
<tr><td>16.75</td><td>23.00</td><td>29.25</td><td>39.00</td></tr>
<tr><td>17.00</td><td>23.25</td><td>29.50</td><td>39.50</td></tr>
<tr><td>17.25</td><td rowspan="2">123</td><td rowspan="2">62</td><td>23.50</td><td>29.75</td><td>40.00</td></tr>
<tr><td>17.50</td><td>23.75</td><td>151</td><td>75</td><td>30.00</td><td></td></tr>
</table>

2.2.3 直柄麻花钻

直柄麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-113。

2.2.4 直柄长麻花钻

直柄长麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-114。

2.2.5 直柄超长麻花钻

直柄超长麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-115。

2.2.6 莫氏锥柄麻花钻

莫氏锥柄麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-116。

2.2.7 莫氏锥柄长麻花钻

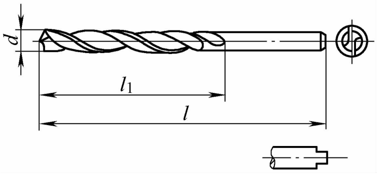
莫氏锥柄长麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-117。

2.2.8 莫氏锥柄加长麻花钻

莫氏锥柄加长麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-118。

表 2-113 直柄麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 6135.3—2008）

（单位：mm）



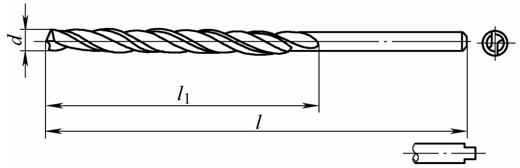
d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
0.2	19	2.5	0.92	32	11	2.30	53	27	4.50	80	47
0.22			0.95			2.35			4.60		
0.25		3	0.98	34	12	2.40	57	30	4.70		
0.28			1.00			2.45			4.80	86	52
0.30			1.05			2.50			4.90		
0.32		4	1.10	36	14	2.55			5.00		
0.35			1.15			2.60			5.10		
0.38			1.20	38	16	2.65			5.20		
0.40	20	5	1.25			2.70	61	33	5.30	93	57
0.42			1.30			2.75			5.40		
0.45			1.35	40	18	2.80			5.50		
0.48			1.40			2.85			5.60		
0.50	22	6	1.45			2.90			5.70		
0.52			1.50			2.95			5.80		
0.55	24	7	1.55	43	20	3.00			5.90		
0.58			1.60			3.10	65	36	6.00		
0.60			1.65			3.20			6.10	101	63
0.62	26	8	1.70			3.30			6.20		
0.65			1.75	46	22	3.40	70	39	6.30		
0.68	28	9	1.80			3.50			6.40		
0.70			1.85			3.60			6.50		
0.72			1.90			3.70			6.60		
0.75			1.95	49	24	3.80	75	43	6.70		
0.78	30	10	2.00			3.90			6.80	109	69
0.80			2.05			4.00			6.90		
0.82			2.10			4.10			7.00		
0.85			2.15	53	27	4.20			7.10		
0.88	32	11	2.20			4.30	80	47	7.20		
0.90			2.25			4.40			7.30		

（续）

d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
7. 40	109	69	9. 50	125	81	11. 60	142	94	13. 70	160	108
7. 50			9. 60	133	87	11. 70			13. 80		
7. 60	117	75	9. 70			11. 80			13. 90		
7. 70			9. 80			11. 90	151	101	14. 00		
7. 80			9. 90			12. 00			14. 25	169	114
7. 90			10. 00			12. 10			14. 50		
8. 00			10. 10			12. 20			14. 75		
8. 10			10. 20			12. 30			15. 00		
8. 20			10. 30			12. 40			15. 25	178	120
8. 30			10. 40			12. 50			15. 50		
8. 40			10. 50			12. 60			15. 75		
8. 50			10. 60			12. 70			16. 00		
8. 60	125	81	10. 70	142	94	12. 80			16. 50	184	125
8. 70			10. 80			12. 90			17. 00		
8. 80			10. 90			13. 00			17. 50	191	130
8. 90			11. 00			13. 10			18. 00		
9. 00			11. 10			13. 20			18. 50	198	135
9. 10			11. 20			13. 30	160	108	19. 00		
9. 20			11. 30			13. 40			19. 50	205	140
9. 30			11. 40			13. 50			20. 00		
9. 40			11. 50			13. 60					

表 2-114 直柄长麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 6135. 4—2008）

（单位：mm）



d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
1. 00	56	33	1. 60	76	50	2. 20	90	59	2. 80	100	66
1. 10	60	37	1. 70			2. 30			2. 90		
1. 20	65	41	1. 80	80	53	2. 40	95	62	3. 00		
1. 30			1. 90			2. 50			3. 10	106	69
1. 40	70	45	2. 00	85	56	2. 60			3. 20		
1. 50			2. 10			2. 70	100	66	3. 30		

（续）

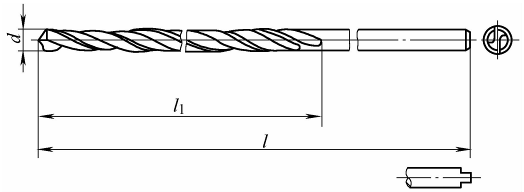
d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
3.40	112	73	6.80	156	102	10.20	184	121	13.60	214	140
3.50			6.90			10.30			13.70		
3.60			7.00			10.40			13.80		
3.70			7.10			10.50			13.90		
3.80	119	78	7.20			10.60			14.00		
3.90			7.30			10.70	195	128	14.25	220	144
4.00			7.40			10.80			14.50		
4.10			7.50			10.90			14.75		
4.20			7.60	165	109	11.00			15.00		
4.30	126	82	7.70			11.10			15.25	227	149
4.40			7.80			11.20			15.50		
4.50			7.90			11.30			15.75		
4.60			8.00			11.40			16.00		
4.70			8.10			11.50			16.25	235	154
4.80	132	87	8.20			11.60			16.50		
4.90			8.30			11.70			16.75		
5.00			8.40			11.80			17.00		
5.10			8.50			11.90	205	134	17.25	241	158
5.20			8.60	175	115	12.00			17.50		
5.30			8.70			12.10			17.75		
5.40	139	91	8.80			12.20			18.00		
5.50			8.90			12.30			18.25	247	162
5.60			9.00			12.40			18.50		
5.70			9.10			12.50			18.75		
5.80			9.20			12.60			19.00		
5.90			9.30			12.70			19.25	254	166
6.00			9.40			12.80			19.50		
6.10	148	97	9.50			12.90			19.75		
6.20			9.60	184	121	13.00			20.00		
6.30			9.70			13.10			20.25	261	171
6.40			9.80			13.20			20.50		
6.50			9.90			13.30	214	140	20.75		
6.60			10.00			13.40			21.00		
6.70			10.10			13.50			21.25	268	176

（续）

d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1	d	l	l_1
21.50			24.25			26.75			29.25		
21.75	268	176	24.50	282	185	27.00			29.50	307	201
22.00			24.75			27.25	298	195	29.75		
22.25			25.00			27.50			30.00		
22.50			25.25			27.75			30.25		
22.75			25.50			28.00			30.50		
23.00	275	180	25.75			28.25			30.75		
23.25			26.00	290	190	28.50			31.00	316	207
23.50			26.25			28.75	307	201	31.25		
23.75	282	185	26.50			29.00			31.50		
24.00											

表2-115　直柄超长麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 6135.4—2008）

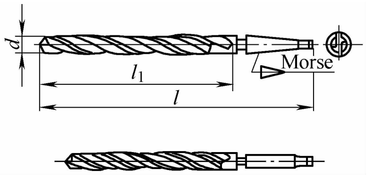
（单位：mm）



d h8	$l=125$ $l_1=80$	$l=160$ $l_1=100$	$l=200$ $l_1=150$	$l=250$ $l_1=200$	$l=315$ $l_1=250$	$l=400$ $l_1=300$
2.0	×	×	—			
2.5	×	×		—		
3.0		×	×		—	
3.5		×	×	×		—
4.0		×	×	×	×	
4.5		×	×	×	×	
5.0			×	×	×	×
5.5			×	×	×	×
6.0			×	×	×	×
6.5			×	×	×	×
7.0			×	×	×	×
7.5			×	×	×	×
8.0				×	×	×
8.5	—			×	×	×
9.0				×	×	×
9.5		—		×	×	×
10.0				×	×	×
10.5				×	×	×
11.0			—	×	×	×
11.5				×	×	×
12.0				×	×	×
12.5				×	×	×
13.0				×	×	×
13.5				×	×	×
14.0				×	×	×

注：×——表示有的规格。

表 2-116 莫氏锥柄麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 1438.1—2008）



d /mm	l_1 /mm	标准柄		粗柄	
		l /mm	莫氏锥度号	l /mm	莫氏锥度号
3.00	33	114	1	—	—
3.20	36	117			
3.50	39	120			
3.80	43	124			
4.00					
4.20					
4.50	47	128			
4.80	52	133			
5.00					
5.20					
5.50	57	138			
5.80					
6.00					
6.20	63	144			
6.50					
6.80	69	150			
7.00					
7.20					
7.50					
7.80	75	156			
8.00					
8.20					
8.50					

d /mm	l_1 /mm	标准柄		粗柄	
		l /mm	莫氏锥度号	l /mm	莫氏锥度号
8.80	81	162	1	—	—
9.00					
9.20					
9.50					
9.80	87	168			
10.00					
10.20					
10.50					
10.80	94	175			
11.00					
11.20					
11.50					
11.80					
12.00	101	182	1	199	2
12.20					
12.50					
12.80					
13.00					
13.20					
13.50	108	189		206	
13.80					
14.00					
14.25	114	212	2	—	—

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">d /mm</th><th rowspan="2">l_1 /mm</th><th colspan="2">标准柄</th><th colspan="2">粗柄</th><th rowspan="2">d /mm</th><th rowspan="2">l_1 /mm</th><th colspan="2">标准柄</th><th colspan="2">粗柄</th></tr>
<tr><th>l /mm</th><th>莫氏锥度号</th><th>l /mm</th><th>莫氏锥度号</th><th>l /mm</th><th>莫氏锥度号</th><th>l /mm</th><th>莫氏锥度号</th></tr>
<tr><td>14.50</td><td rowspan="3">114</td><td rowspan="3">212</td><td rowspan="33">2</td><td rowspan="15">—</td><td rowspan="15">—</td><td>22.75</td><td rowspan="4">155</td><td rowspan="2">253</td><td rowspan="2">2</td><td rowspan="2">276</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>14.75</td><td>23.00</td></tr>
<tr><td>15.00</td><td>23.25</td><td rowspan="2">276</td><td rowspan="31">3</td><td rowspan="14">—</td><td rowspan="14">—</td></tr>
<tr><td>15.25</td><td rowspan="4">120</td><td rowspan="4">218</td><td>23.50</td></tr>
<tr><td>15.50</td><td>23.75</td><td rowspan="6">160</td><td rowspan="6">281</td></tr>
<tr><td>15.75</td><td>24.00</td></tr>
<tr><td>16.00</td><td>24.25</td></tr>
<tr><td>16.25</td><td rowspan="4">125</td><td rowspan="4">223</td><td>24.50</td></tr>
<tr><td>16.50</td><td>24.75</td></tr>
<tr><td>16.75</td><td>25.00</td></tr>
<tr><td>17.00</td><td>25.25</td><td rowspan="6">165</td><td rowspan="6">286</td></tr>
<tr><td>17.25</td><td rowspan="4">130</td><td rowspan="4">228</td><td>25.50</td></tr>
<tr><td>17.50</td><td>25.75</td></tr>
<tr><td>17.75</td><td>26.00</td></tr>
<tr><td>18.00</td><td>26.25</td></tr>
<tr><td>18.25</td><td rowspan="4">135</td><td rowspan="4">233</td><td rowspan="4">256</td><td rowspan="18">3</td><td>26.50</td></tr>
<tr><td>18.50</td><td>26.75</td><td rowspan="6">170</td><td rowspan="6">291</td><td rowspan="6">319</td><td rowspan="17">4</td></tr>
<tr><td>18.75</td><td>27.00</td></tr>
<tr><td>19.00</td><td>27.25</td></tr>
<tr><td>19.25</td><td rowspan="4">140</td><td rowspan="4">238</td><td rowspan="4">261</td><td>27.50</td></tr>
<tr><td>19.50</td><td>27.75</td></tr>
<tr><td>19.75</td><td>28.00</td></tr>
<tr><td>20.00</td><td>28.25</td><td rowspan="8">175</td><td rowspan="8">296</td><td rowspan="8">324</td></tr>
<tr><td>20.25</td><td rowspan="4">145</td><td rowspan="4">243</td><td rowspan="4">266</td><td>28.50</td></tr>
<tr><td>20.50</td><td>28.75</td></tr>
<tr><td>20.75</td><td>29.00</td></tr>
<tr><td>21.00</td><td>29.25</td></tr>
<tr><td>21.25</td><td rowspan="5">150</td><td rowspan="5">248</td><td rowspan="5">271</td><td>29.50</td></tr>
<tr><td>21.50</td><td>29.75</td></tr>
<tr><td>21.75</td><td>30.00</td></tr>
<tr><td>22.00</td><td>30.25</td><td rowspan="3">180</td><td rowspan="3">301</td><td rowspan="3">329</td></tr>
<tr><td>22.25</td><td>30.50</td></tr>
<tr><td>22.50</td><td>155</td><td>253</td><td>276</td><td>30.75</td></tr>
</table>

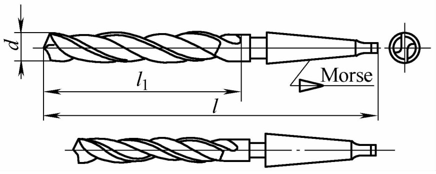
（续）

d /mm	l_1 /mm	标准柄 l /mm	标准柄 莫氏锥度号	粗柄 l /mm	粗柄 莫氏锥度号	d /mm	l_1 /mm	标准柄 l /mm	标准柄 莫氏锥度号	粗柄 l /mm	粗柄 莫氏锥度号
31.00	180	301	3	329	4	46.50	215	364	4	402	5
31.25						47.00					
31.50						47.50					
31.75	185	306		334		48.00	220	369		407	
32.00		334	4	—	—	48.50					
32.50						49.00					
33.00						49.50					
33.50						50.00					
34.00	190	339				50.50	225	374		412	
34.50						51.00		412	5	—	—
35.00						52.00					
35.50						53.00					
36.00	195	344				54.00	230	417			
36.50						55.00					
37.00						56.00					
37.50						57.00	235	422			
38.00	200	349				58.00					
38.50						59.00					
39.00						60.00					
39.50						61.00	240	427			
40.00						62.00					
40.50	205	354		392	5	63.00					
41.00						64.00	245	432		499	6
41.50						65.00					
42.00						66.00					
42.50						67.00					
43.00	210	359		397		68.00	250	427		504	
43.50						69.00					
44.00						70.00					
44.50						71.00					
45.00						72.00	255	442		509	
45.50	215	364		402		73.00					
46.00						74.00					

（续）

d /mm	l_1 /mm	标准柄		粗柄		d /mm	l_1 /mm	标准柄		粗柄	
		l /mm	莫氏锥度号	l /mm	莫氏锥度号			l /mm	莫氏锥度号	l /mm	莫氏锥度号
75.00	255	442	5	509	6	88.00					
76.00		447		514		89.00	270	524			
77.00						90.00					
78.00	260	514				91.00					
79.00						92.00					
80.00						93.00	275	529			
81.00						94.00			6	—	—
82.00			6	—	—	95.00					
83.00	265	519				96.00					
84.00						97.00					
85.00						98.00	280	534			
86.00	270	524				99.00					
87.00						100.0					

表 2-117 莫氏锥柄长麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 1438.2—2008）



d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号	d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号
5.00	74	155		8.00			
5.20				8.20	100	181	
5.50				8.50			
5.80	80	161		8.80			
6.00				9.00	107	188	
6.20	86	167		9.20			
6.50			1	9.50			1
6.80				9.80			
7.00	93	174		10.00	116	197	
7.20				10.20			
7.50				10.50			
7.80	100	181		10.80	125	206	

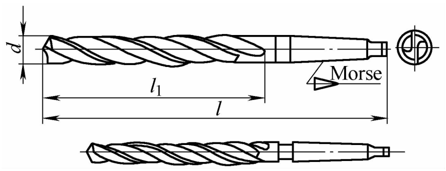
（续）

d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号
11.00	125	206	1
11.20	125	206	1
11.50	125	206	1
11.80	125	206	1
12.00	134	215	1
12.20	134	215	1
12.50	134	215	1
12.80	134	215	1
13.00	134	215	1
13.20	134	215	1
13.50	142	223	1
13.80	142	223	1
14.00	142	223	1
14.25	147	245	2
14.50	147	245	2
14.75	147	245	2
15.00	147	245	2
15.25	153	251	2
15.50	153	251	2
15.75	153	251	2
16.00	153	251	2
16.25	159	257	2
16.50	159	257	2
16.75	159	257	2
17.00	159	257	2
17.25	165	263	2
17.50	165	263	2
17.75	165	263	2
18.00	165	263	2
18.25	171	269	2
18.50	171	269	2
18.75	171	269	2
19.00	171	269	2
19.25	177	275	2
19.50	177	275	2
19.75	177	275	2
20.00	177	275	2
20.25	184	282	2
20.50	184	282	2
20.75	184	282	2
21.00	184	282	2
21.25	191	289	2
21.50	191	289	2
21.75	191	289	2
22.00	191	289	2
22.25	191	289	2
22.50	198	296	2
22.75	198	296	2
23.00	198	296	2
23.25	198	319	3
23.50	198	319	3
23.75	206	327	3
24.00	206	327	3
24.25	206	327	3
24.50	206	327	3
24.75	206	327	3
25.00	206	327	3
25.25	214	335	3
25.50	214	335	3
25.75	214	335	3
26.00	214	335	3
26.25	214	335	3
26.50	214	335	3
26.75	222	343	3
27.00	222	343	3
27.25	222	343	3
27.50	222	343	3
27.75	222	343	3

（续）

d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号
28.00	222	343	3
28.25	230	351	
28.50			
28.75			
29.00			
29.25			
29.50			
29.75			
30.00			
30.25	239	360	
30.50			
30.75			
31.00			
31.25			
31.50			
31.75	248	369	
32.00	248	397	4
32.50			
33.00			
33.50			
34.00	257	406	
34.50			
35.00			
35.50			
36.00	267	416	
36.50			
37.00			
37.50	267	416	4
38.00	277	426	
38.50			
39.00			
39.50			
40.00			
40.50	287	436	
41.00			
41.50			
42.00			
42.50			
43.00	298	447	
43.50			
44.00			
44.50			
45.00			
45.50	310	459	
46.00			
46.50			
47.00			
47.50			
48.00	321	470	
48.50			
49.00			
49.50			
50.00			

表 2-118 莫氏锥柄加长麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 1438.3—2008）



（续）

d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号	d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号
6.00	145	225	1	14.50	190	290	2
6.20	150	230		14.75			
6.50				15.00			
6.80	155	235		15.25	195	295	
7.00				15.50			
7.20				15.75			
7.50				16.00			
7.80	160	240		16.25	200	300	
8.00				16.50			
8.20				16.75			
8.50				17.00			
8.80	165	245		17.25	205	305	
9.00				17.50			
9.20				17.75			
9.50				18.00			
9.80	170	250		18.25	210	310	
10.00				18.50			
10.20				18.75			
10.50				19.00			
10.80	175	255		19.25	220	320	
11.00				19.50			
11.20				19.75			
11.50				20.00			
11.80				20.25	230	330	
12.00	180	260		20.50			
12.20				20.75			
12.50				21.00			
12.80				21.25	235	335	
13.00				21.50			
13.20				21.75			
13.50	185	265		22.00			
13.80				22.25			
14.00				22.50	240	340	
14.25	190	290	2	22.75			

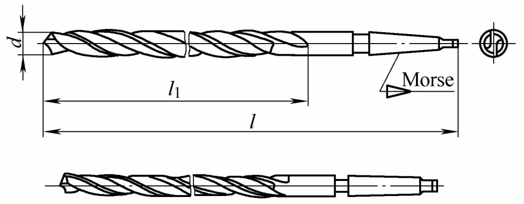
（续）

d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号	d/mm	l_1/mm	l/mm	莫氏锥度号
23.00	240	340	2	26.75			
23.25	240	360		27.00			
23.50				27.25	265	385	
23.75				27.50			
24.00				27.75			
24.25				28.00			
24.50	245	365		28.25			
24.75			3	28.50			3
25.00				28.75			
25.25				29.00			
25.50				29.25	275	395	
25.75	255	375		29.50			
26.00				29.75			
26.25				30.00			
26.50							

2.2.9 莫氏锥柄超长麻花钻

莫氏锥柄超长麻花钻的结构与基本尺寸见表 2-119。

表 2-119 莫氏锥柄超长麻花钻的结构与基本尺寸（GB/T 1438.4—2008）



d/mm	l = 200	l = 250	l = 315	l = 400	l = 500	l = 630	莫氏锥度号
	l_1/mm						
6.00							
6.50							
7.00							
7.50	110			—			
8.00							
8.50		160	225		—	—	1
9.00							
9.50							
10.00	—			310			
11.00							

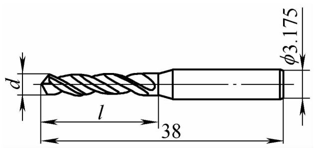
（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">d/mm</th><th>l = 200</th><th>l = 250</th><th>l = 315</th><th>l = 400</th><th>l = 500</th><th>l = 630</th><th rowspan="2">莫氏锥度号</th></tr>
<tr><th colspan="6">l_1/mm</th></tr>
<tr><td>12.00</td><td rowspan="24">—</td><td rowspan="24">—</td><td rowspan="12">215</td><td rowspan="3">310</td><td rowspan="12">400</td><td rowspan="12">—</td><td rowspan="12">2</td></tr>
<tr><td>13.00</td></tr>
<tr><td>14.00</td></tr>
<tr><td>15.00</td><td rowspan="9">300</td></tr>
<tr><td>16.00</td></tr>
<tr><td>17.00</td></tr>
<tr><td>18.00</td></tr>
<tr><td>19.00</td></tr>
<tr><td>20.00</td></tr>
<tr><td>21.00</td></tr>
<tr><td>22.00</td></tr>
<tr><td>23.00</td></tr>
<tr><td>24.00</td><td rowspan="12">—</td><td rowspan="4">275</td><td rowspan="4">375</td><td rowspan="4">505</td><td rowspan="4">3</td></tr>
<tr><td>25.00</td></tr>
<tr><td>28.00</td></tr>
<tr><td>30.00</td></tr>
<tr><td>32.00</td><td rowspan="4">250</td><td rowspan="8">350</td><td rowspan="8">480</td><td rowspan="8">4</td></tr>
<tr><td>35.00</td></tr>
<tr><td>38.00</td></tr>
<tr><td>40.00</td></tr>
<tr><td>42.00</td><td rowspan="4">—</td></tr>
<tr><td>45.00</td></tr>
<tr><td>48.00</td></tr>
<tr><td>50.00</td></tr>
<tr><td>直径范围</td><td>6≤d≤9.5</td><td>6≤d≤14</td><td>6≤d≤23</td><td>9.5 < d≤40</td><td>14 < d≤50</td><td>23 < d≤50</td><td></td></tr>
</table>

2.2.10 硬质合金麻花钻

硬质合金麻花钻主要用于加工脆性材料（如铸铁等），也可用于钻削高锰钢等硬材料，可以显著提高切削效率和刀具寿命。4 种常用的硬质合金麻花钻的结构与尺寸见表 2-120 ~ 表 2-123。

表 2-120 整体硬质合金粗柄麻花钻的结构与尺寸 （单位：mm）



<table>
<tr><th>d</th><th>l</th><th>d</th><th>l</th><th>d</th><th>l</th><th>d</th><th>l</th><th>d</th><th>l</th><th>d</th><th>l</th></tr>
<tr><td>0.30</td><td rowspan="2">3</td><td>0.70</td><td rowspan="3">8</td><td>1.10</td><td rowspan="8">10</td><td>1.50</td><td rowspan="3">10</td><td>1.95</td><td rowspan="8">12</td><td>2.60</td><td rowspan="8">12</td></tr>
<tr><td>0.35</td><td>0.75</td><td>1.15</td><td>1.55</td><td>2.00</td><td>2.70</td></tr>
<tr><td>0.40</td><td rowspan="2">4</td><td>0.80</td><td>1.20</td><td>1.60</td><td>2.05</td><td>2.80</td></tr>
<tr><td>0.45</td><td>0.85</td><td rowspan="5">10</td><td>1.25</td><td>1.65</td><td rowspan="5">12</td><td>2.10</td><td>2.90</td></tr>
<tr><td>0.50</td><td rowspan="2">5</td><td>0.90</td><td>1.30</td><td>1.70</td><td>2.20</td><td>3.00</td></tr>
<tr><td>0.55</td><td>0.95</td><td>1.35</td><td>1.75</td><td>2.30</td><td>3.05</td></tr>
<tr><td>0.60</td><td rowspan="2">6</td><td>1.00</td><td>1.40</td><td>1.80</td><td>2.40</td><td>3.10</td></tr>
<tr><td>0.65</td><td>1.05</td><td>1.45</td><td>1.90</td><td>2.50</td><td>3.175</td></tr>
</table>

表 2-121　整体硬质合金定直径圆柱柄麻花钻的结构与尺寸　（单位：mm）

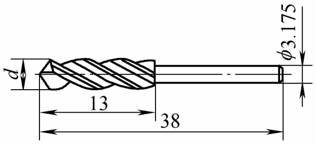
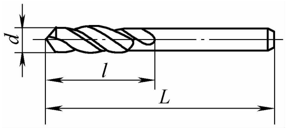
	直径系列	3.2、3.3、3.4、3.5、3.6、3.7、3.8、3.9、4.0、4.1、4.2、4.3、4.4、4.5、4.6、4.7、4.8、4.9、5.0、5.1、5.2、5.3、5.4、5.5、5.6、5.7、5.8、5.9、6.0

表 2-122　整体硬质合金直柄麻花钻的结构与尺寸　（单位：mm）



d	L	l	d	L	l	d	L	l	d	L	l	d	L	l	d	L	l
0.4	25	4	2.1	40	18	3.8	50	23	5.5	60	36	7.2	70	40	8.9	80	47
0.5		5	2.2			3.9			5.6	65		7.3			9.0		
0.6			2.3			4.0	55	28	5.7			7.4			9.1		
0.7	30	6.5	2.4			4.1			5.8			7.5			9.2		
0.8		8	2.5			4.2			5.9			7.6	75	42	9.3		
0.9		10	2.6	45	20	4.3			6.0			7.7			9.4		
1.0		12	2.7			4.4			6.1			7.8			9.5		
1.1			2.8			4.5			6.2			7.9			9.6	85	50
1.2	35	14	2.9			4.6	60	32	6.3			8.0			9.7		
1.3			3.0			4.7			6.4			8.1			9.8		
1.4			3.1	50	23	4.8			6.5			8.2			9.9		
1.5			3.2			4.9			6.6	70	40	8.3			10.0		
1.6	40	16	3.3			5.0			6.7			8.4					
1.7			3.4			5.1			6.8			8.5					
1.8			3.5			5.2			6.9			8.6					
1.9			3.6			5.3			7.0			8.7					
2.0			3.7			5.4			7.1			8.8					

2.2.11　群钻

群钻是对标准麻花钻的切削部分进行了以下几方面的修磨而形成的一种形状特殊的钻头（见表 2-124）：

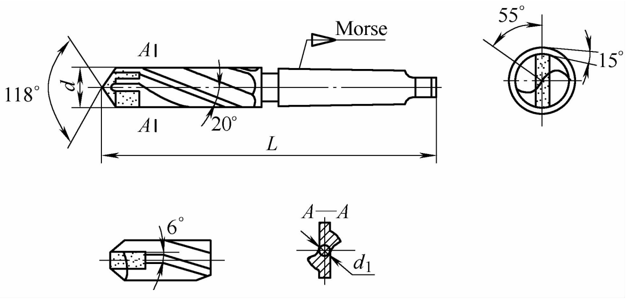
1）在麻花钻的两个主切削刃上磨出两条对称的圆弧刃，改善了钻头的定心功能。

2）修磨横刃，缩短了横刃的长度，并加大了横刃前角，从而减小了切削力和切削转矩。

3）对直径大于 15mm 的钻头，在主切削刃上磨出分屑槽，以便于排屑。

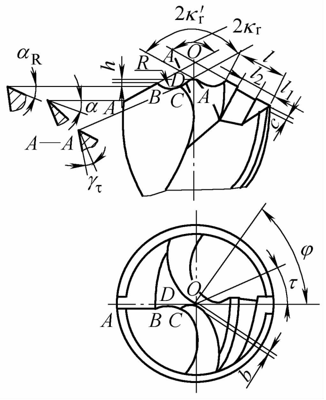
因此，群钻的寿命比标准麻花钻提高 2～3 倍，或生产率提高 2 倍以上。4 种常用群钻的结构及切削部分几何参数见表 2-124～表 2-127。

表 2-123 镶片硬质合金锥柄麻花钻的结构与尺寸 （单位：mm）



d	L	d_1	莫氏锥度号	d	L	d_1	莫氏锥度号	d	L	d_1	莫氏锥度号	d	L	d_1	莫氏锥度号	d	L	d_1	莫氏锥度号
12		3.2		15.3				18.4				21.8				25.9			
12.1				15.4	195		1	18.5				21.9				26.0			
12.3				15.5				18.6	225			22.0				26.1			
12.4	180			15.6		4.3		18.8		5.1		22.3				26.3			
12.5		3.5		15.7				18.9				22.5				26.4	290	7.3	
12.7				15.8				19.0				22.6			2	26.5			
12.8				15.9				19.1				22.7	245	6.2		26.6			
12.9				16.0				19.2				22.8				26.9			
13.0				16.2	215			19.3	230			22.9				27.0			
13.2				16.3				19.5		5.4		23.0				27.6			
13.3				16.4				19.6				23.5				27.7	295		
13.5	185			16.5		4.6		19.7				23.6				27.8		7.5	
13.7		3.8	1	16.6				19.9			2	23.7		6.5		27.9			3
13.8				16.8				20.0				23.9				28.0			
13.9				16.9			2	20.3				24.0				28.1			
14.0				17.0				20.4				24.1				28.3	300		
14.3				17.1				20.5				24.3	280			28.5			
14.4				17.2				20.6	235			24.5				28.6		7.8	
14.5	190			17.3				20.7		5.6		24.6			3	28.8			
14.6		4		17.4	220			20.8				24.7		6.7		29.0			
14.7				17.5		4.8		20.9				24.8				29.2			
14.8				17.6				21.0				24.9				29.3	310		
14.9				17.7				21.2				25.0				29.6		8.1	
15.0				17.9				21.5	240	5.9		25.3	285			29.9			
15.1	195	4.3		18.0	225			21.6				25.5		7		30.0			
15.2				18.3		5.1		21.7				25.6							

表 2-124 标准群钻切削部分的几何参数



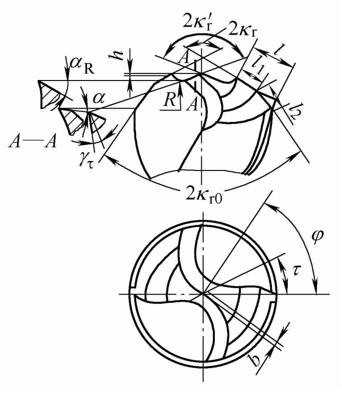
钻头直径 D	尖高 h	圆弧半径 R	外刃长 l	槽距 l_1	槽宽 l_2	横刃长 b		槽深 C	槽数 Z	外刃锋角 $2\kappa_r$		内刃锋角 $2\kappa_r'$	横刃斜角 φ		内刃前角 γ_τ	内刃斜角 τ	外刃后角 α	圆弧后角 α_R
						Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ		Ⅰ	Ⅱ				
mm									条	(°)								
5～7	0.2	0.75	1.3	—	—	0.2	0.15											
>7～10	0.28	1	1.9	—	—	0.3	0.2	—	—							20	15	18
>10～15	0.36	1.5	2.6	—	—	0.4	0.3											
>15～20	0.55	1.5	5.5	1.4	2.7	0.5	0.4											
>20～25	0.7	2	7.0	1.8	3.4	0.6	0.48											
>25～30	0.85	2.5	8.5	2.2	4.2	0.75	0.55	1	1	125	140	135	65	60	-10	25	12	15
>30～35	1	3	10	2.5	5	0.9	0.65											
>35～40	1.15	3.5	11.5	2.9	5.8	1.05	0.75											
>40～45	1.3	4	13	2.2	3.25	1.15	0.85											
>45～50	1.45	4.5	14.5	2.4	3.6	1.3	0.95	1.5	2							30	10	12
>50～60	1.65	5	17	2.9	4.25	1.45	1.05											

注：1. 本表图形系直径 15～40mm 的中型标准群钻。

2. $h\approx0.03D$，$R\approx0.1D$，$l\approx0.2D(D\leqslant15)$，$l\approx0.3D(D>15)$，$b\approx0.03D$(Ⅰ)，$b\approx0.02D$(Ⅱ)。

3. Ⅰ—加工一般钢材；Ⅱ—加工铝合金。

表 2-125 铸铁群钻切削部分的几何参数

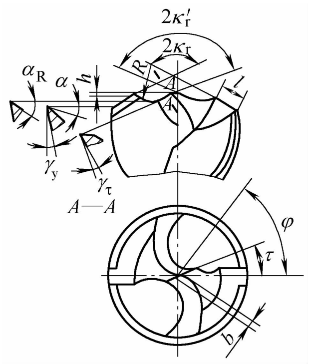


（续）

钻头直径 D	尖高 h	圆弧半径 R	横刃长 b	总外刃长 l	分外刃长 $l_1=l_2$	外刃锋角 $2\kappa_r$	第二锋角 $2\kappa_{r0}$	内刃锋角 $2\kappa_r'$	横刃斜角 φ	内刃前角 γ_τ	内刃斜角 τ	外刃后角 α	圆弧后角 α_R
mm						(°)							
5～7	0.11	0.75	0.15	1.9									
>7～10	0.15	1.25	0.2	2.7							20	18	20
>10～15	0.2	1.75	0.3	4									
>15～20	0.3	2.25	0.4	5.5									
>20～25	0.4	2.75	0.48	7									
>25～30	0.5	3.5	0.55	8.5	$3l/5$	120	70	135	65	-10	25	15	18
>30～35	0.6	4	0.65	10									
>35～40	0.7	4.5	0.75	11.5									
>40～45	0.8	5	0.85	13									
>45～50	0.9	6	0.95	14.5							30	13	15
>50～60	1	7	1.1	17									

注：$h\approx0.02D$，$R\approx0.12D$，$b\approx0.02D$，$l\approx0.3D$，$l_1=l_2\approx0.6l$。

表 2-126 黄铜群钻切削部分的几何参数

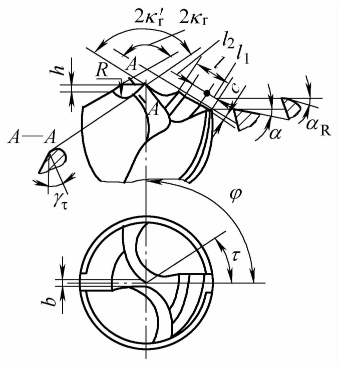


钻头直径 D	尖高 h	圆弧半径 R	横刃长 b	外刃长 l	修磨长度 f	外刃锋角 $2\kappa_r$		内刃锋角 $2\kappa_r'$	横刃斜角 φ	外刃纵向前角 γ_y	内刃前角 γ_τ	内刃斜角 τ	外刃后角 α	圆弧后角 α_R
						Ⅰ	Ⅱ							
mm						(°)								
5～7	0.2	0.75	0.15	1.3										
>7～10	0.3	1	0.2	1.9	1.5	125	110	135	65	8	-10	20	15	18
>10～15	0.4	1.5	0.3	2.6										
>15～20	0.55	2	0.4	3.8										
>20～25	0.70	2.5	0.48	4.9										
>25～30	0.85	3	0.55	6	3	125	110	135	65	8	-10	25	12	15
>30～35	1	3.5	0.65	7.1										
>35～40	1.15	4	0.75	8.2										

注：1. $h\approx0.03D$，$R\approx0.1D$，$b\approx0.02D$，$l\approx0.2D$。

2. Ⅰ—钻黄铜；Ⅱ—钻胶木。

表 2-127 纯铜群钻切削部分的几何参数



钻头直径 D	尖高 h	圆弧半径 R	横刃长 b	外刃长 l	槽距 l_1	槽宽 l_2	槽数 Z	外刃锋角 $2\kappa_r$	内刃锋角 $2\kappa_r'$	横刃斜角 φ	内刃前角 γ_τ	内刃斜角 τ	外刃后角 α	圆弧后角 α_R
mm							条	(°)						
5 ~ 7	0.35	1.25	0.15	1.3	—	—								
>7 ~ 10	0.5	1.75	0.2	1.9	—	—	—	120	115	90	-25	30	15	12
>10 ~ 15	0.8	2.25	0.3	2.6	—	—								
>15 ~ 20	1.1	3	0.4	3.8	—	—	—					30	15	12
>20 ~ 25	1.4	4	0.48	4.9	—	—		120	115	90	-25			
>25 ~ 30	1.7	4	0.55	8.5	2.2	4.2								
>30 ~ 35	2	4.5	0.65	10	2.5	5	1					35	12	10
>35 ~ 40	2.3	5	0.75	11.5	2.9	5.8								

注：$h \approx 0.06D$，$R \approx 0.2D(D \leqslant 25)$，$R \approx 0.15D(D > 25)$，$b \approx 0.02D$，$l \approx 0.2D(D \leqslant 25)$，$l \approx 0.3D(D > 25)$。

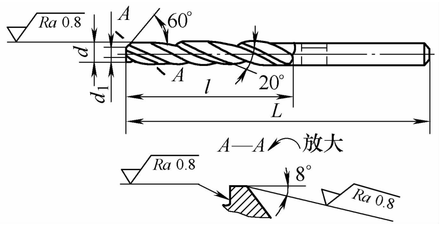
2.3 扩孔钻

扩孔钻是用来对已钻出或铸、锻出的孔进行加工的刀具。扩孔钻常用作铰孔等精加工前的准备工序，也可作要求不高孔的终加工工序。常用的扩孔钻有以下几种。

2.3.1 直柄扩孔钻

直柄扩孔钻的尺寸规格见表 2-128。

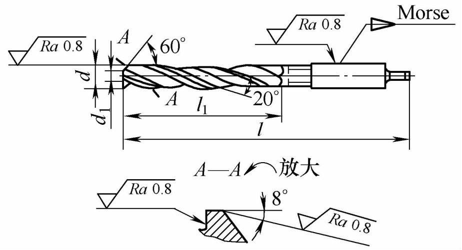
表 2-128 直柄扩孔钻的尺寸规格（GB/T 4256—2004）



（续）

d/mm		L/mm		l/mm		d_1≈/mm
推荐值	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
3.00	0 −0.014	61	±4	33	±3	1.2
3.30	0 −0.018	65	+5 −4	36		1.5
3.50		70	±5	39		
3.80		75		43	±4	2
4.00						
4.30		80		47		2.6
4.50						
4.80		86	+7 −6	52	±5	3.2
5.00						
5.80		93	+8 −7	57		3.9
6.00		101	±8	63	±6	
6.80	0 −0.022	109		69		4.5
7.00						
7.80		117		75		5.2
8.00						
8.80		125		81		5.8
9.00						
9.80		133		87		6.5
10.00						
10.75	0 −0.027	142	±9	94	±7	7.1
11.00						
11.75						
12.00		151		101		7.8
12.75						8.1
13.00						8.4
13.75		160		108	±6	9.1
14.00						
14.75		169		114		9.7
15.00						
15.75		178	+6 −7	120	±5	10.4
16.00						
16.75		184	+7 −6	125		11
17.00						
17.75		191	±7	130		11.7
18.00						
18.70	0 −0.033	198		135		12.3
19.00						
19.70		205		140		13

表 2-129 莫氏锥柄扩孔钻的尺寸规格（GB/T 4256—2004）（单位：mm）



d	l_1	l	莫氏锥度号
7.80	75	156	1
8.00			
8.80	81	162	
9.00			
9.80	87	168	
10.00			
10.75	94	175	
11.00			
11.75			
12.00	101	182	
12.75			
13.00			
13.75	108	189	
14.00			
14.75	114	212	2
15.00			
15.75	120	218	
16.00			
16.75	125	223	
17.00			
17.75	130	228	
18.00			
18.70	135	233	
19.00			
19.70	140	238	
20.00			
20.70	145	243	
21.00			
21.70	150	248	
22.00			
22.70	155	253	
23.00			
23.70	160	281	3

d	l_1	l	莫氏锥度号
24.00	160	281	3
24.70			
25.00			
25.70	165	286	
26.00			
27.70	170	291	
28.00			
29.70	175	296	
30.00			
31.60	185	306	
32.00	185	334	4
33.60	190	339	
34.00			
34.60			
35.00			
35.60	195	344	
36.00			
37.60	200	349	
38.00			
39.60			
40.00			
41.60	205	354	
42.00			
43.60	210	359	
44.00			
44.60			
45.00			
45.60	215	364	
46.00			
47.60	220	369	
48.00			
49.60			
50.00			

2.3.2 莫氏锥柄扩孔钻

莫氏锥柄扩孔钻的尺寸规格见表 2-129。

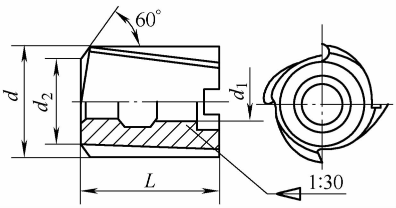
2.3.3 套式扩孔钻

套式扩孔钻的尺寸规格见表 2-130，套式扩孔钻端面键槽的尺寸见表 2-131。

2.3.4 硬质合金扩孔钻

硬质合金扩孔钻主要用于加工铸铁和有色金属。直径大于 14mm 的扩孔钻采用焊接刀片结构，直径大于 40mm 的扩孔钻采用镶齿式结构。镶齿式结构的扩孔钻，刀体也可镶高速钢刀片，用来加工钢件，即刀体可两用。几种常用的硬质合金扩孔钻的结构与尺寸见表 2-132 ~表 2-134。

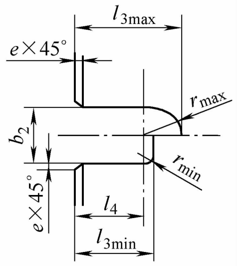
表 2-130 套式扩孔钻的尺寸规格（GB/T 1142—2004） （单位：mm）



d（h8）			L		d_1	d_2（min）	d（h8）			L		d_1	d_2（min）
推荐值	分段范围 大于	分段范围 至	基本尺寸	极限偏差			推荐值	分段范围 大于	分段范围 至	基本尺寸	极限偏差		
25	23.6	35.5	45	0 -1.6	13	20	46	45	53	56	0 -1.9	19	38
26						21	47						39
27						22	48						40
28						23	50						42
29						24	52						44
30						25	55	53	63	63		22	46
31						26	58						49
32						27	60						51
33						28	62						53
34						29	65	63	75	71			54
35						30	70					27	59
36	35.5	45.0	50		16	30	72						61
37						31	75						64
38						32	80	75	90	80		32	67
39						33	85						72
40						34	90						77
42						36	95	90	100	90		40	80
44						38	100						85
45						39							

注：直径 d 推荐值系常备的扩孔钻规格，用户有特殊需要时，也可供应分段范围内任意直径的扩孔钻。

表 2-131 套式扩孔钻端面键槽的尺寸（GB/T 1142—2004）（单位：mm）



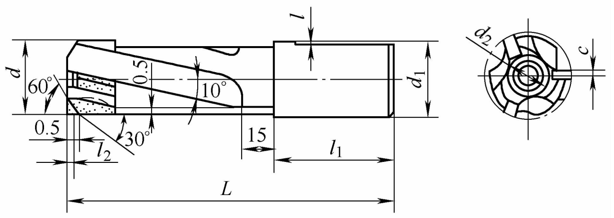
d_1	$b_2$① (h13)	l_3		r		l_4	Z③ (max)	e②	
		min	max	min	max				
13	4.3	3.4	7.0	0.6	2.15	4.8	0.075	0.3	+0.1
16	5.4	6.2	8.3	0.6	2.70	5.6	0.100	0.4	
19	6.4	7.8	10.2	0.8	3.20	7.0		0.5	
22	7.4	8.6	11.3	1.0	3.70	7.6		0.5	
27	8.4	9.3	12.5	1.0	4.20	8.3		0.6	+0.2 0
32	10.4	10.5	14.5	1.2	5.20	9.3			
40	12.4	11.2	16.2	1.2	6.20	10.0		0.8	

① 键槽的宽度 b_2 在长度 l_4 上必须平行。

② 倒棱 e 可用同值的圆弧半径和公差代替。

③ Z 为键槽中心平面与直径 d_1 轴线的最大极限偏差。

表 2-132 硬质合金直柄扩孔钻的结构和尺寸（单位：mm）

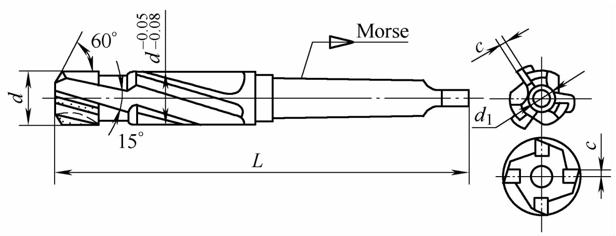


d (h8)	L	l_1	d_1	l_2	d_2	c	d (h8)	L	l_1	d_1	l_2	d_2	c
>20~22	140	45	20	2	10	1.6	>32~36	180	60	34	4	16	2.5
>22~25				2.5	11	1.8	>36~40			38		18	2.8
>25~28	160	50	24		12	2	>40~45	200			4.5	22	3.2
>28~32			30	3	14	2.2							

注：1. 直径 d 的小数位取为 0.1mm。

2. 刀片材料为 YG8 或 YT15，刀体材料为 9SiCr。

表 2-133 硬质合金锥柄扩孔钻的结构和尺寸 （单位：mm）

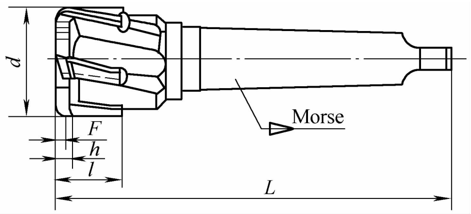


d (h8)	L 1	L 2	L 3	c	d_1	莫氏锥度号	d (h8)	L 1	L 2	L 3	c	d_1	莫氏锥度号
>14~16	180	220	150	1.4	7	2	>28~30	280	360	210	2.2	12	
>16~18	200	250	180	1.6	8		>30~32					14	
>18~20					9		>32~34	320	390	240	3	直线齿背 $z=4$	—
>20~22	220	290		1.8	10		>34~36						
>22~24					11		>36~38	360	415				
>24~26	250	320	210	2		3	>38~40				3.5		
>26~28					12								

注：1. 直径 d 的小数位取为 0.1mm。
2. 刀片材料：YG8 或 YT15；刀体材料：9SiCr。

表 2-134 硬质合金（或高速钢）镶齿锥柄扩孔钻的结构和尺寸

（单位：mm）



d (h8)	L	l	h	F	莫氏锥度号	d (h8)	L	l	h	F	莫氏锥度号
>40~42	190	30	5	3	4	>60~62	240	35	6	4	5
>42~44						>62~64					
>44~46						>64~66					
>46~48						>66~68					
>48~50						>68~70					
>50~52	230	35	6	4	5	>70~72	300	40	7	5	6
>52~54						>72~74					
>54~56						>74~76					
>56~58						>76~78					
>58~60						>78~80					

注：1. 直径 d 的小数位取为 0.1mm。
2. 刀片与刀体的连接与紧固采用齿距为 1mm、楔角为 5°的方式。
3. 制造刀体时，将相邻两刀槽 1、2 的齿距错开 1/2 的距离，以便在重磨时得到合适的重磨余量，重磨时可将槽 1 的刀片移到槽 2，槽 2 的刀片移到槽 1。
4. 刀体可两用，即可镶高速钢刀片（加工钢件），又可镶硬质合金刀片（加工铸铁）。

2.4 锪钻

锪钻有 6 种类型，用于加工圆锥形、圆柱形埋头孔和锪平凸台端面，其规格尺寸见表 2-135 ~ 表 2-140。

2.4.1 60°、90°、120°直柄锥面锪钻

60°、90°、120°直柄锥面锪钻的结构和尺寸见表 2-135。

2.4.2 60°、90°、120°莫氏锥柄锥面锪钻的结构和尺寸

60°、90°、120°莫氏锥柄锥面锪钻的结构和尺寸见表 2-136。

2.4.3 带可换导柱锥柄平底锪钻的结构和尺寸

带可换导柱锥柄平底锪钻的结构和尺寸见表 2-137。

2.4.4 带导柱直柄平底锪钻的结构和尺寸

带导柱直柄平底锪钻的结构和尺寸见表 2-138。

2.4.5 带导柱直柄 90°锥面锪钻的结构和尺寸

带导柱直柄 90°锥面锪钻的结构和尺寸见表 2-139。

2.4.6 带可换导柱锥柄 90°锥面锪钻的结构和尺寸

带可换导柱锥柄90°锥面锪钻的结构和尺寸见表 2-140。

2.4.7 高速钢莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸

高速钢莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸见表2-141。

2.4.8 硬质合金莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸

硬质合金莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸见表2-142。

2.4.9 片形端面锪钻的结构和尺寸

片形端面锪钻的结构和尺寸见表 2-143。

2.4.10 大直径端面锪钻的结构和尺寸

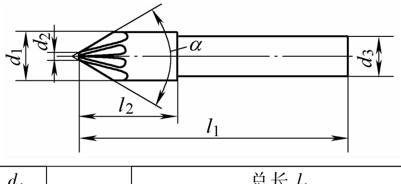
大直径端面锪钻的结构和尺寸见表 2-144。

2.4.11 小直径端面锪钻的结构和尺寸

小直径端面锪钻的结构和尺寸见表 2-145。

表 2-135 60°、90°、120°直柄锥面锪钻的结构和尺寸（GB/T 4258—2004）

（单位：mm）

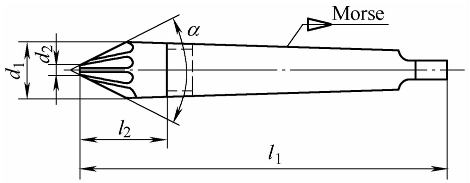


α = 60°、90°或 120°（偏差：$^{0}_{-1°}$）

公称尺寸 d_1		柄部直径 d_3(h9)	总长 l_1				钻体长 l_2				小端直径	
			α = 60°		α = 90°或 120°		α = 60°		α = 90°或 120°			
基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	d_2	齿数
8	0 -0.15	8	48	0 -0.16	44	0 -0.16	16	0 -1.1	12	0 -1.1	1.6	4
10			50		46		18		14		2	
12.5	0 -0.18		52	0 -1.9	48		20		16		2.5	
16		10	60		56	0 -1.9	24		20	0 -1.3	3.2	6
20	0 -0.21		64		60		28		24		4	
25			69		65		33	0 -0.16	29		7	

表 2-136 60°、90°、120°莫氏锥柄锥面锪钻的结构和尺寸(GB/T 1143—2004)

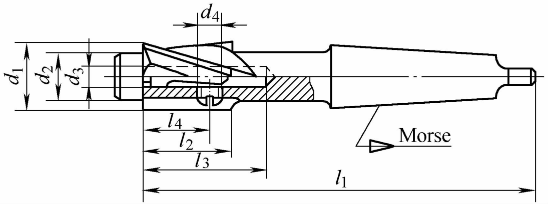
(单位：mm)



d_1		莫氏锥度号	总长 l_1				钻体长 l_2				小端直径	
			α=60°		α=90°或120°		α=60°		α=90°或120°			
基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	d_2	齿数
16	0 -0.18	1	97	0 -2.2	93	0 -2.2	24	0 -0.13	20	0 -0.13	3.2	6
20	0 -0.21	2	120	0 -2.5	116	0 -2.5	28		24		4	
25			125		121		33	0 -0.16	29		7	
31.5	0 -0.25		132		124		40		32	0 -0.16	9	8
40		3	160		150		45		35		12.5	
50			165		153		50		38		16	10
63	0 -0.30	4	200	0 -2.9	185	0 -2.9	58	0 -0.19	43		20	
80			215		196		73		54	0 -0.19	25	12

表 2-137 带可换导柱锥柄平底锪钻的结构和尺寸(GB/T 4261—2004)

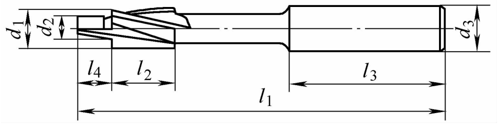
(单位：mm)



切削直径 d_1 (z9)		导柱直径 d_2 (e8)		d_3 H8	d_4	l_1	l_2	l_3	l_4	莫氏锥度号
大于	至	大于	至							
12.5	16	5	14	4	M3	132	22	30	16	2
16	20	6.3	18	5	M4	140	25	38	19	
20	25	8	22.4	6	M5	150	30	46	23	
25	31.5	10	28	8	M6	180	35	54	27	3
31.5	40	12.5	35.5	10	M8	190	40	64	32	
40	50	16	45	12	M8	236	50	76	42	4
50	63	20	56	16	M10	250	63	88	53	

表 2-138 带导柱直柄平底锪钻的结构和尺寸(GB/T 4260—2004)

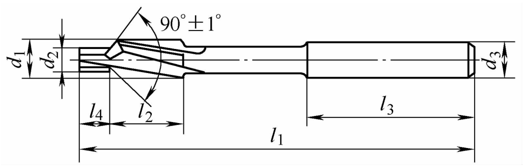
(单位: mm)



切削直径 d_1 z9	导柱直径 d_2 e8	柄部直径 d_3 h9	总长 l_1	刃长 l_2	柄长 l_3 ≈	导柱长 l_4
$2 \leqslant d_1 \leqslant 3.15$	按引导孔直径配套要求规定(最小直径为: $d_2 = 1/3d_1$)	$= d_1$	45	7	—	$\approx d_2$
$3.15 < d_1 \leqslant 5$			56	10		
$5 < d_1 \leqslant 8$			71	14	31.5	
$8 < d_1 \leqslant 10$			80	18	35.5	
$10 < d_1 \leqslant 12.5$		10				
$12.5 < d_1 \leqslant 20$		12.5	100	22	40	

表 2-139 带导柱直柄 90°锥面锪钻的结构和尺寸(GB/T 4263—2004)

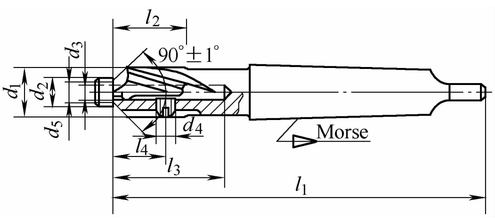
(单位: mm)



切削直径 d_1 z9	导柱直径 d_2 e8	柄部直径 d_3 h9	总长 l_1	刃长 l_2	柄长 l_3 ≈	导柱长 l_4
$2 \leqslant d_1 \leqslant 3.15$	按引导孔直径配套要求规定(最小直径为: $d_2 = 1/3d_1$)	$= d_1$	45	7	—	$\approx d_2$
$3.15 < d_1 \leqslant 5$			56	10		
$5 < d_1 \leqslant 8$			71	14	31.5	
$8 < d_1 \leqslant 10$			80	18	35.5	
$10 < d_1 \leqslant 12.5$		10				
$12.5 < d_1 \leqslant 20$		12.5	100	22	40	

表 2-140 带可换导柱锥柄 90°锥面锪钻的结构和尺寸(GB/T 4264—2004)

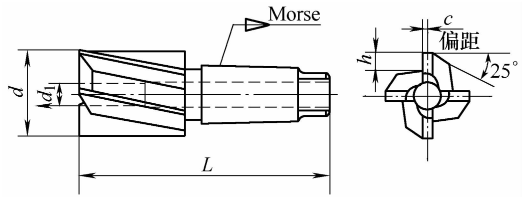
(单位: mm)



（续）

切削直径 d_1 z9		导柱直径 d_2 e8		d_3 H8	螺钉 d_4	d_5	l_1	l_2	l_3	l_4	莫氏锥度号
大于	至	大于	至								
12.5	16	5	14	4	M3	6	132	22	30	16	2
16	20	6.3	18	5	M4	6	140	25	38	19	
20	25	8	22.4	6	M5	7.5	150	30	46	23	
25	31.5	10	28	8	M6	9.5	180	35	54	27	3
31.5	40	12.5	35.5	10	M8	12	190	40	64	32	

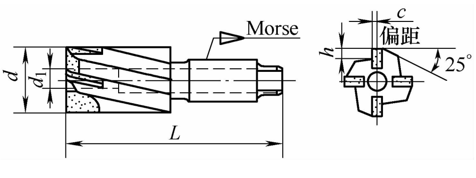
表 2-141 高速钢莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸 （单位:mm）



d	d_1	L	莫氏锥度号	c	h	z	d	d_1	L	莫氏锥度号	c	h	z①
15	5	66	1	0.8	2.5	4	40	10	92	3	2	10	4
16	6				3		42	12	100	4	2.5	9	6
18					3.5		46				3		
20					4		48					10	
22	8	76	2	1.2	5		50						
25					5.5		55				3.5	11	
26							58						
28					6.5		60					12	
30					7		65	16	120	5	3.5	12	
32	10	92	3	2			68				4	13	
35					8		75					14	
38					9		80				4.5	15	

① z 为齿数，下同。

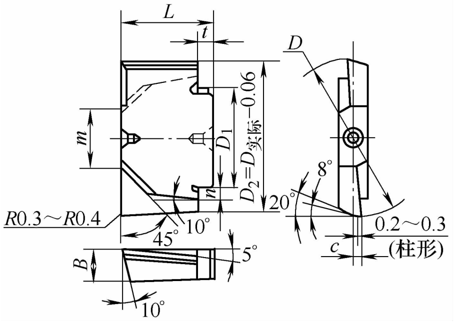
表 2-142 硬质合金莫氏短锥柄平底锪钻的结构和尺寸 （单位:mm）



（续）

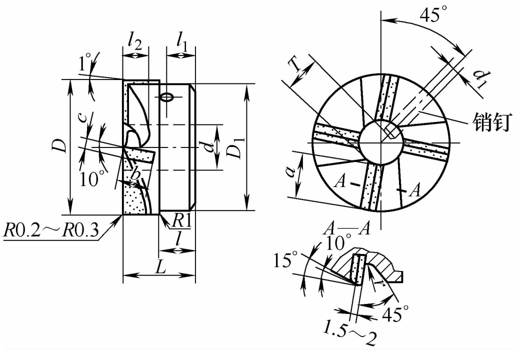
d	d_1	L	莫氏锥度号	c	h	z	d	d_1	L	莫氏锥度号	c	h	z
18	6	66	1	1	3	4	42	10	92	3	1.5	8	4
20							45					9	
22	8	76	2	1.2	4		48					10	
24					5		50	12	100	4	3	7.5	6
26				1.5	5.5		54					9	
28					6		60						
30							65	16	120	5	3.5	11	
32	10	92	3	1.5			70					12	
36					7		74					13	
40					8		80					14	

表2-143　片形端面锪钻的结构和尺寸　（单位：mm）



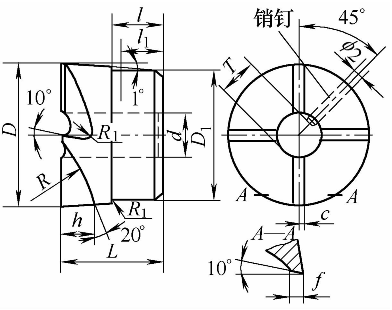
D	L	B(h8)	D_1(f7)	t	n	m	c	D	L	B(h8)	D_1(f7)	t	n	m	c
42	25	8	27	4.5	3	15	1.5	60	35	10	40	6.5	5	25	2.5
44								62							
45								65							
46	30	9	32	5.5	4	20	2	68							
48								70							
50								72	40	12	50	8	6	30	3
52	30	9	32	5.5	4	20	2.0	75							
55								78							
58	35	10	40	6.5	5	25	2.5	80							

表 2-144 大直径端面锪钻的结构和尺寸 （单位：mm）



<table>
<tr><th colspan="2">D</th><th rowspan="2">d
（H9）</th><th rowspan="2">d_1
（H7）</th><th rowspan="2">L</th><th rowspan="2">D_1</th><th rowspan="2">l</th><th rowspan="2">l_1</th><th rowspan="2">l_2</th><th rowspan="2">r</th><th rowspan="2">a</th><th rowspan="2">b</th><th rowspan="2">c</th><th rowspan="2">T</th></tr>
<tr><th>基本尺寸</th><th>极限偏差</th></tr>
<tr><td>28</td><td rowspan="2">+0.07
+0.02</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">20</td><td>26</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="3">8</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">1</td><td>10</td><td rowspan="9">10</td><td rowspan="3">3</td><td rowspan="3">8.5</td></tr>
<tr><td>30</td><td>28</td><td rowspan="3">12</td></tr>
<tr><td>32</td><td rowspan="3">+0.09
+0.03</td><td>30</td></tr>
<tr><td>35</td><td rowspan="3">14</td><td rowspan="6">4</td><td rowspan="3">22</td><td>32</td><td rowspan="3">11</td><td rowspan="3">8.5</td><td rowspan="3">8</td><td rowspan="3">1.5</td><td rowspan="6">4</td><td rowspan="3">11</td></tr>
<tr><td>38</td><td>35</td><td rowspan="3">14</td></tr>
<tr><td>40</td><td>37</td></tr>
<tr><td>42</td><td rowspan="4">+0.09
+0.03</td><td rowspan="3">16</td><td rowspan="3">26</td><td>38</td><td rowspan="3">13</td><td rowspan="3">10.5</td><td rowspan="3">9</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">13</td></tr>
<tr><td>45</td><td>42</td><td rowspan="2">16</td></tr>
<tr><td>48</td><td>45</td></tr>
<tr><td>50</td><td rowspan="3">18</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">28</td><td>46</td><td rowspan="3">14</td><td rowspan="3">11</td><td rowspan="3">11</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="2">18</td><td rowspan="3">12</td><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">14.5</td></tr>
<tr><td>52</td><td rowspan="2">+0.105
+0.030</td><td>48</td></tr>
<tr><td>55</td><td>50</td><td>20</td></tr>
</table>

表 2-145 小直径端面锪钻的结构和尺寸 （单位：mm）



（续）

D 基本尺寸	D 极限偏差	d 基本尺寸	d 极限偏差	L	D_1	l	l_1	h	R	c	f	T
14	$^{+0.06}_{+0.02}$	5.5	$^{+0.025}_{0}$	16	12	8	6.5	4	15	0.8	1	4.5
15					13							
16					14							
18		7	$^{+0.03}_{0}$	16	16	8	6.5	5	22.5	1	1	6
20	$^{+0.07}_{+0.02}$				18							
22		8	$^{+0.03}_{0}$	18	20	9	7.5	6	22.5	1.5	1.5	7
25					23							

2.5 铰刀

铰孔所用的刀具称为铰刀。铰孔是一种常用的孔的精加工方法，通常是在钻孔和扩孔之后进行。铰孔的加工精度可达 IT7 ~ IT6，加工表面的表面粗糙度值为 $Ra1.6 \sim 0.4\mu m$。铰刀包括高速钢铰刀和硬质合金铰刀，以下主要介绍常用的机用铰刀。

2.5.1 直柄机用铰刀

直柄机用铰刀的结构和尺寸见表 2-146。

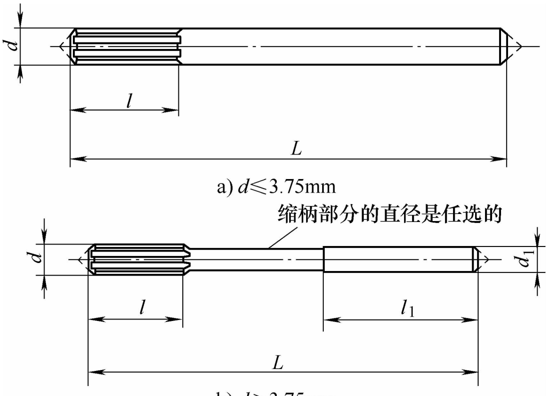
2.5.2 锥柄机用铰刀

锥柄机用铰刀的结构和尺寸见表 2-147。

2.5.3 莫氏锥柄长刃机用铰刀

莫氏锥柄长刃机用铰刀的结构和尺寸见表 2-148。

表 2-146 直柄机用铰刀的结构和尺寸（GB/T 1132—2004）（单位：mm）



a) $d \leqslant 3.75mm$

b) $d > 3.75mm$

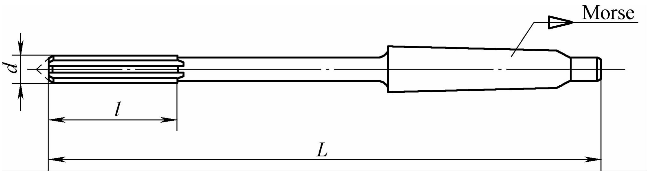
d	d_1	L	l	l_1
1.4	1.4	40	8	—
(1.5)	1.5			
1.6	1.6	43	9	
1.8	1.8	46	10	
2.0	2.0	49	11	
2.2	2.2	53	12	

（续）

d	d_1	L	l	l_1
2.5	2.5	57	14	—
2.8	2.8	61	15	
3.0	3.0			
3.2	3.2	65	16	
3.5	3.5	70	18	
4.0	4.0	75	19	32
4.5	4.5	80	21	33
5.0	5.0	86	23	34
5.5	5.6	93	26	36
6	5.6			
7	7.1	109	31	40
8	8.0	117	33	42
9	9.0	125	36	44
10	10.0	133	38	46
11		142	41	
12		151	44	
(13)				
14	12.5	160	47	50
(15)		162	50	
16		170	52	
(17)	14.0	175	54	52
18		182	56	
(19)	16.0	189	58	58
20		195	60	

注：括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-147 锥柄机用铰刀的结构和尺寸（GB/T 1132—2004）（单位：mm）



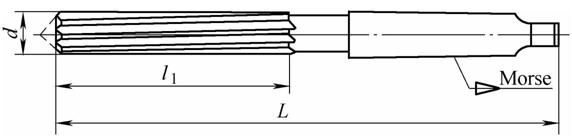
d	L	l	莫氏锥度号
5.5	138	26	1
6			
7	150	31	
8	156	33	
9	162	36	
10	168	38	
11	175	41	
12	182	44	
(13)	182	44	
14	189	47	

（续）

d	L	l	莫氏锥度号
15	204	50	2
16	210	52	
（17）	214	54	
18	219	56	
（19）	223	58	
20	228	60	
22	237	64	
（24）	268	68	3
25			
（26）	273	70	
28	277	71	
（30）	281	73	
32	317	77	4
（34）	321	78	
（35）			
36	325	79	
（38）	329	81	
40			
（42）	333	82	
（44）	336	83	
（45）			
（46）	340	84	
（48）	344	86	
50			

注：括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-148 莫氏锥柄长刃机用铰刀的结构和尺寸 （单位：mm）



d	l	L	莫氏锥度号
7	54	134	1
8	58	138	
9	62	142	
10	66	146	
11	71	151	
12	76	156	
（13）			
14	81	161	
（15）		181	2
16	87	187	
（17）			

（续）

<table>
<tr><th>d</th><th>l</th><th>L</th><th>莫氏锥度号</th></tr>
<tr><td>18</td><td rowspan="2">93</td><td rowspan="2">193</td><td rowspan="6">2</td></tr>
<tr><td>(19)</td></tr>
<tr><td>20</td><td rowspan="2">100</td><td rowspan="2">200</td></tr>
<tr><td>(21)</td></tr>
<tr><td>22</td><td rowspan="2">107</td><td rowspan="2">207</td></tr>
<tr><td>(23)</td></tr>
<tr><td>(24)</td><td rowspan="3">115</td><td rowspan="3">242</td><td rowspan="6">3</td></tr>
<tr><td>25</td></tr>
<tr><td>(26)</td></tr>
<tr><td>(27)</td><td rowspan="3">124</td><td rowspan="3">251</td></tr>
<tr><td>28</td></tr>
<tr><td>(30)</td></tr>
<tr><td>32</td><td>133</td><td>293</td><td rowspan="12">4</td></tr>
<tr><td>(34)</td><td rowspan="3">142</td><td rowspan="3">302</td></tr>
<tr><td>(35)</td></tr>
<tr><td>36</td></tr>
<tr><td>(38)</td><td rowspan="3">152</td><td rowspan="3">312</td></tr>
<tr><td>40</td></tr>
<tr><td>(42)</td></tr>
<tr><td>(44)</td><td rowspan="3">163</td><td rowspan="3">323</td></tr>
<tr><td>45</td></tr>
<tr><td>(46)</td></tr>
<tr><td>(48)</td><td rowspan="3">174</td><td rowspan="2">334</td></tr>
<tr><td>50</td></tr>
<tr><td>(52)</td><td>371</td><td rowspan="9">5</td></tr>
<tr><td>(55)</td><td rowspan="4">184</td><td rowspan="4">381</td></tr>
<tr><td>56</td></tr>
<tr><td>(58)</td></tr>
<tr><td>(60)</td></tr>
<tr><td>(62)</td><td rowspan="3">194</td><td rowspan="3">391</td></tr>
<tr><td>63</td></tr>
<tr><td>67</td></tr>
<tr><td>71</td><td>203</td><td>400</td></tr>
</table>

注：括号内的尺寸尽量不采用。莫氏锥柄按 GB/T 1443—1996 的规定。

2.5.4　硬质合金直柄机用铰刀

硬质合金直柄机用铰刀的结构和尺寸见表 2-149。

2.5.5　硬质合金锥柄机用铰刀

硬质合金锥柄机用铰刀的结构和尺寸见表 2-150。

2.5.6　直柄机用 1∶50 锥度销子铰刀

直柄机用 1∶50 锥度销子铰刀的结构和尺寸见表 2-151。

2.5.7　锥柄机用 1∶50 锥度销子铰刀

锥柄机用 1∶50 锥度销子铰刀的结构和尺寸见表 2-152。

2.5.8 莫氏锥柄机用 1∶8 锥度铰刀

莫氏锥柄机用 1∶8 锥度粗、精铰刀的结构和尺寸分别见表 2-153 和表 2-154。

2.5.9 莫氏圆锥铰刀及米制圆锥铰刀

莫氏圆锥铰刀及米制圆锥铰刀有直柄和锥柄之分，其结构和尺寸见表 2-155。

2.5.10 机用带刃倾角铰刀

在铰削深孔或不通孔时，采用带刃倾角铰刀，可使铰削过程平稳，切屑能够顺利向前排出，有利于提高铰孔的质量。机用带刃倾角铰刀可分为直柄和锥柄两种结构，分别见表 2-156 和表 2-157。

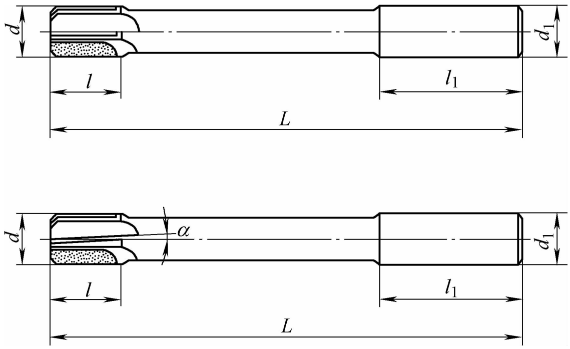
2.5.11 机用套式铰刀

机用套式铰刀有整体式和镶齿式之分，可用高速钢制造，也可制作成硬质合金套式铰刀。几种常用的机用套式铰刀的结构与尺寸分别见表 2-158 ~ 表 2-160。

2.5.12 硬质合金可调节浮动铰刀

硬质合金可调节浮动铰刀的类型与用途见表 2-161，其结构和尺寸见表 2-162。

表 2-149 硬质合金直柄机用铰刀的结构和尺寸 （单位：mm）

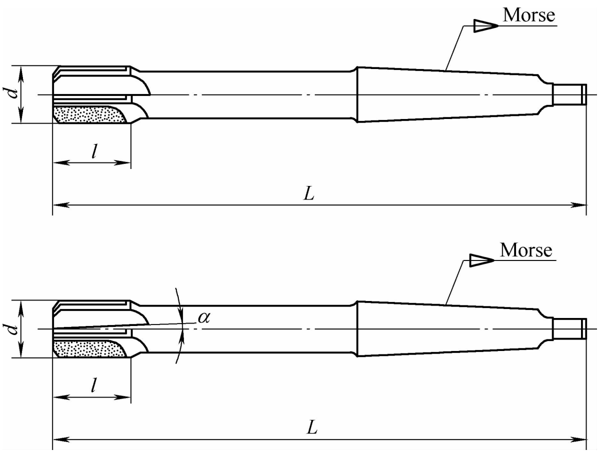


α——根据被加工情况确定。

<table>
<tr><th>d</th><th>d1</th><th>L</th><th>l</th><th>l1</th></tr>
<tr><td>6</td><td>5.6</td><td>93</td><td rowspan="6">17</td><td>36</td></tr>
<tr><td>7</td><td>7.1</td><td>109</td><td>40</td></tr>
<tr><td>8</td><td>8.0</td><td>117</td><td>42</td></tr>
<tr><td>9</td><td>9.0</td><td>125</td><td>44</td></tr>
<tr><td>10</td><td rowspan="4">10.0</td><td>133</td><td rowspan="4">46</td></tr>
<tr><td>11</td><td>142</td></tr>
<tr><td>12</td><td rowspan="2">151</td><td rowspan="4">20</td></tr>
<tr><td>(13)</td></tr>
<tr><td>14</td><td rowspan="3">12.5</td><td>160</td><td rowspan="3">50</td></tr>
<tr><td>(15)</td><td>162</td></tr>
<tr><td>16</td><td>170</td><td rowspan="5">25</td></tr>
<tr><td>(17)</td><td rowspan="2">14.0</td><td>175</td><td rowspan="2">52</td></tr>
<tr><td>18</td><td>182</td></tr>
<tr><td>(19)</td><td rowspan="2">16.0</td><td>189</td><td rowspan="2">58</td></tr>
<tr><td>20</td><td>195</td></tr>
</table>

注：括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-150　硬质合金锥柄机用铰刀的结构和尺寸（GB/T 4251—2008）　　（单位：mm）



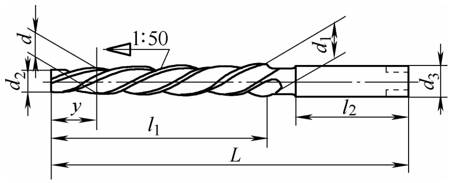
α——根据使用情况确定。

d	L	l	莫氏锥度号
8	156	17	1
9	162		
10	168		
11	175		
12	182	20	
(13)			
14	189		
(15)	204	25	2
16	210		
(17)	214		
18	219		
(19)	223		
20	228		
21	232	28	
22	237		
23	241		
24	268		3
25			
(26)	273	34	
28	277		
(30)	281		
32	317		4
(34)	321		
(35)			
36	325		
(38)	329		
40			

注：括号内尺寸尽量不采用。

表 2-151 直柄机用 1∶50 锥度销子铰刀的结构和尺寸（GB/T 20331—2006）

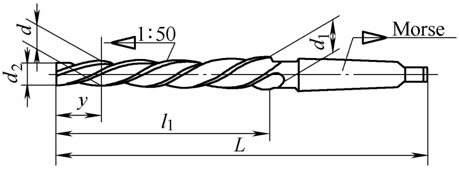
（单位：mm）



d	y	d_1	d_2	l_1	d_3	l_2	L
2	5	2.86	1.9	48	3.15	29	86
2.5		3.36	2.4				
3		4.06	2.9	58	4.0	32	100
4		5.26	3.9	68	5.0	34	112
5		6.36	4.9	73	6.3	38	122
6		8.00	5.9	105	8.0	42	160
8		10.80	7.9	145	10.0	46	207
10		13.40	9.9	175	12.5	50	245
12	10	16.00	11.8	210	16.0	58	290

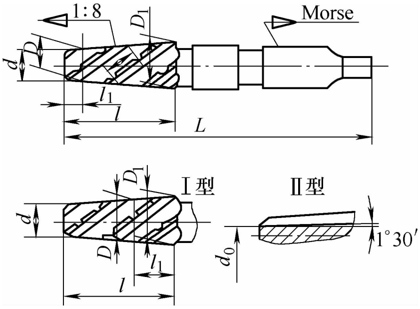
表 2-152 锥柄机用 1∶50 锥度销子铰刀的结构和尺寸（GB/T 20332—2006）

（单位：mm）



d	y	d_1	d_2	l_1	L	莫氏锥度号
5	5	6.36	4.9	73	155	1
6		8.00	5.9	105	187	
8		10.80	7.9	145	227	
10		13.40	9.9	175	257	
12	10	16.00	11.8	210	315	2
16		20.40	15.8	230	335	
20		24.80	19.8	250	377	3
25	15	30.70	24.7	300	427	
30		36.10	29.7	320	475	4
40		46.50	39.7	340	495	
50		56.90	49.7	360	550	5

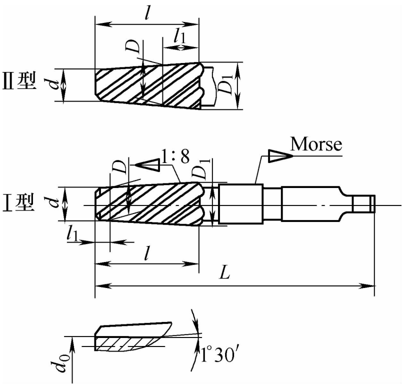
表 2-153 莫氏锥柄机用 1∶8 锥度铰刀（粗）的结构和尺寸 （单位：mm）



型式	D	L	l	l_1	莫氏锥度号	参考尺寸		d_0	a	b	z	s	β
						d	D_1						
Ⅰ	19	165	60	8	3	17.996	25.526	12	1.6	0.8	3	12	35°
		185	75				27.408						
Ⅱ	37.3	190	80	22		30.021	40.061	16	2.5	1.2	4	16	
		245	90	36	4	30.487	41.818						

注：表中 a、b、z、s、β 图中未示出。

表 2-154 莫氏锥柄机用 1∶8 锥度铰刀（精）的结构和尺寸 （单位：mm）



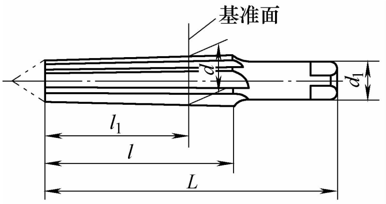
型式	D	L	l	l_1	莫氏锥度号	参考尺寸		d_0	z	β（小头）
						d	D_1			
Ⅰ	19.4	165	60	8	3	18.396	25.926	12	5	35°
		185	75				27.808			
Ⅱ	37.75	190	80	22		30.471	40.511	17		
		245	90	36	4	30.973	42.268			

注：1. Ⅰ型用于测量基准在小端，Ⅱ型用于测量基准在大端。

2. d_0、z、β 图中未示出。

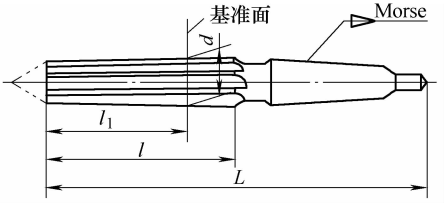
表 2-155 莫氏圆锥铰刀及米制圆锥铰刀的结构和尺寸(GB/T 1139—2004)

(1) 直柄圆锥铰刀尺寸



圆锥			d /mm	L /mm	l /mm	l_1 /mm	d_1 /mm	d /in	L /in	l /in	l_1 /in	d_1 /in
代号		锥度										
米制	4	1:20 = 0.05	4.000	48	30	22	4.0	0.1575	$1^{7}/_{8}$	$1^{3}/_{16}$	$^{7}/_{8}$	0.1575
米制	6	1:20 = 0.05	6.000	63	40	30	5.0	0.2362	$2^{15}/_{32}$	$1^{9}/_{16}$	$1^{3}/_{16}$	0.1969
莫氏	0	1:19.212 = 0.05205	9.045	93	61	48	8.0	0.3561	$3^{21}/_{32}$	$2^{13}/_{32}$	$1^{7}/_{8}$	0.3150
莫氏	1	1:20.047 = 0.04988	12.065	102	66	50	10.0	0.4750	$4^{1}/_{32}$	$2^{19}/_{32}$	$1^{31}/_{32}$	0.3937
莫氏	2	1:20.020 = 0.04995	17.780	121	79	61	14.0	0.7000	$4^{3}/_{4}$	$3^{1}/_{8}$	$2^{13}/_{32}$	0.5512
莫氏	3	1:19.922 = 0.05020	23.825	146	96	76	20.0	0.9380	$5^{3}/_{4}$	$3^{25}/_{32}$	3	0.7874
莫氏	4	1:19.254 = 0.05194	31.267	179	119	97	25.0	1.2310	$7^{1}/_{16}$	$4^{11}/_{16}$	$3^{13}/_{16}$	0.9843
莫氏	5	1:19.002 = 0.05263	44.399	222	150	124	31.5	1.7480	$8^{3}/_{4}$	$5^{29}/_{32}$	$4^{7}/_{8}$	1.2402
莫氏	6	1:19.180 = 0.05214	63.348	300	208	176	45.0	2.4940	$11^{13}/_{16}$	$8^{3}/_{16}$	$6^{15}/_{16}$	1.7717

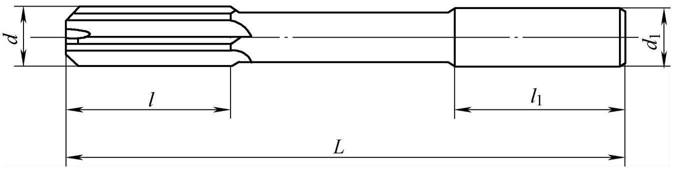
(2) 锥柄圆锥铰刀尺寸



圆锥			d /mm	L /mm	l /mm	l_1 /mm	d /in	L /in	l /in	l_1 /in	莫氏锥度号
代号		锥度									
米制	4	1:20 = 0.05	4.000	106	30	22	0.1575	$4^{3}/_{16}$	$1^{3}/_{16}$	$^{7}/_{8}$	1
米制	6	1:20 = 0.05	6.000	116	40	30	0.2362	$4^{9}/_{16}$	$1^{9}/_{16}$	$1^{3}/_{16}$	1
莫氏	0	1:19.212 = 0.05205	9.045	137	61	48	0.3561	$5^{13}/_{32}$	$2^{13}/_{32}$	$1^{7}/_{8}$	1
莫氏	1	1:20.047 = 0.04988	12.065	142	66	50	0.4750	$5^{19}/_{32}$	$2^{19}/_{32}$	$1^{31}/_{32}$	1
莫氏	2	1:20.020 = 0.04995	17.780	173	79	61	0.7000	$6^{13}/_{16}$	$3^{1}/_{8}$	$2^{13}/_{32}$	2
莫氏	3	1:19.922 = 0.05020	23.825	212	96	76	0.9380	$8^{11}/_{32}$	$3^{25}/_{32}$	3	3
莫氏	4	1:19.254 = 0.05194	31.267	263	119	97	1.2310	$10^{11}/_{32}$	$4^{11}/_{16}$	$3^{13}/_{16}$	4
莫氏	5	1:19.002 = 0.05263	44.399	331	150	124	1.7480	$13^{11}/_{32}$	$5^{29}/_{32}$	$4^{7}/_{8}$	5
莫氏	6	1:19.180 = 0.05214	63.348	389	208	176	2.4940	$15^{5}/_{16}$	$8^{3}/_{16}$	$6^{15}/_{16}$	5

表 2-156　带刃倾角直柄机用铰刀结构和尺寸(GB/T 1134—2008)

(单位:mm)

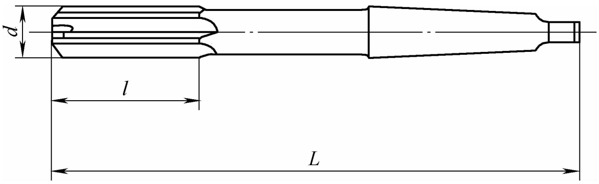


d	d_1	L	l	l_1
5.5	5.6	93	26	36
6				
7	7.1	109	31	40
8	8.0	117	33	42
9	9.0	125	36	44
10	10.0	133	38	46
11		142	41	
12		151	44	
(13)				
14	12.5	160	47	50
(15)		162	50	
16		170	52	
(17)	14.0	175	54	52
18		182	56	
(19)	16.0	189	58	58
20		195	60	

注:括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-157　带刃倾角锥柄机用铰刀结构和尺寸(GB/T 1134—2008)

(单位:mm)



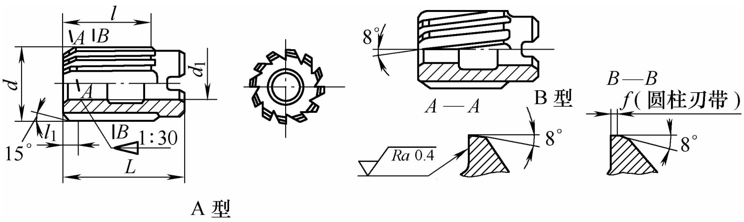
d	L	l	莫氏锥度号
8	156	33	1
9	162	36	
10	168	38	
11	175	41	
12	182	44	
(13)			
14	189	47	

（续）

d	*L*	*l*	莫氏锥度号
(15)	204	50	2
16	210	52	
(17)	214	54	
18	219	56	
(19)	223	58	
20	228	60	
(21)	232	62	
22	237	64	
(23)	241	66	
(24)	264		3
25	268	68	
(26)	273	70	
(27)	277	71	
28			
(30)	281	73	
32	317	77	4
(34)	321	78	
(35)			
36	325	79	
(38)	329	81	
40			

注：括号内的尺寸尽量不采用。

表 2-158 高速钢整体机用套式铰刀的结构和尺寸 （单位：mm）



d					*L*		*l*		d_1
推荐值	分级范围	公差等级			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
		H7	H8	H9					
20	19.9～23.6	$^{+0.017}_{+0.009}$	$^{+0.028}_{+0.016}$	$^{+0.044}_{+0.025}$	40	$^{0}_{-1.6}$	32	$^{0}_{-1.6}$	10
25	>23.6～30				45				13
(26)									
(27)									
28									
(30)									

（续）

d					L		l		d_1
推荐值	分级范围	公差等级 H7	公差等级 H8	公差等级 H9	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
32	>30～35.5	+0.021 +0.012	+0.033 +0.019	+0.052 +0.030	50	0 −1.6	36	0 +1.6	16
(34)									
(35)									
36	>35.5～42.5				56	0 −1.9	40		19
(38)									
40									
(42)									
45	>42.5～50.8				63		45		22
(47)									
(48)									
50									
(52)	>50.8～60	+0.025 +0.014	+0.039 +0.022	+0.062 +0.036	71		50	0 −1.9	27
56									
(58)									
(60)									
63	>60～71				80		56		32
(65)									
71									
(72)	>71～85				90	0 −2.2	63		40
(75)									
80									
(85)		+0.029 +0.016	+0.045 +0.026	+0.073 +0.042					
90	>85～101.6				100		71		50
(95)									
100									

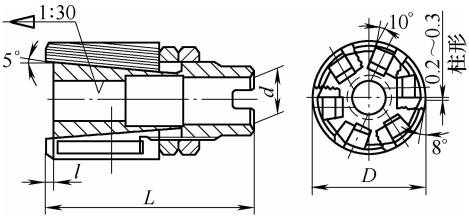
注：1. 直径 d“推荐值”系常备的铰刀规格，用户有特殊需要时，也可供应“分级范围”内任一直径的铰刀。

2. 带括号的尺寸尽量不选用。

3. 专业生产的铰刀按 A 型。

4. 图中角度值仅供参考。

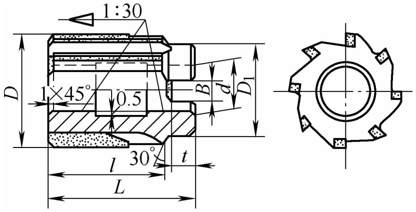
表 2-159 镶齿套式铰刀的结构和尺寸 （单位：mm）



（续）

D 大于	D 至	d	L	l	z	D 大于	D 至	d	L	l	z	D 大于	D 至	d	L	l	z
40	42	16	70	3	6	60	62	22	90	4	6	80	82	32	95	5	8
42	44					62	64					82	84				
44	46					64	66					84	86				
46	48	19	80			66	68					86	88				
48	50					68	70	27			8	88	90				
50	52					70	72					90	92				
52	54					72	74					92	94	40	100		
54	56					74	76					94	96				
56	58					76	78					96	98				
58	60	22	90	4		78	80	32	95	5		98	100				

表 2-160 硬质合金整体套式铰刀的结构和尺寸 （单位：mm）



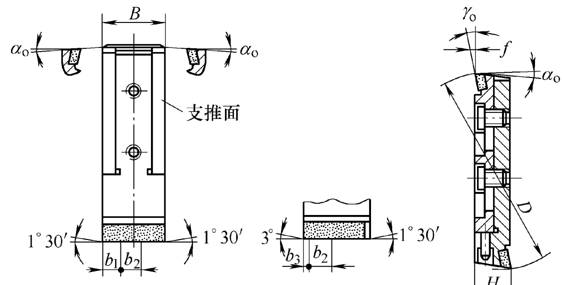
D 大于	D 至	L	l	D_1	B	t	d(h7)	z	合金型号
30	35	45	35	28	6	8	16	8	E525
35	40	50	40	34					E530
40	48			38	8	8.5	19		
48	55			45	10	12	27	10	
55	60	55	43	52					

表 2-161 硬质合金可调节浮动铰刀的类型与用途

类型	用途	类型	用途
A 型	加工通孔铸铁件	AC 型	加工通孔钢件
B 型	加工不通孔铸铁件	BC 型	加工不通孔钢件

表 2-162 硬质合金可调节浮动铰刀的结构与尺寸（JB/T 7426—2006）

（单位：mm）



A、AC 型　　B、BC 型

（续）

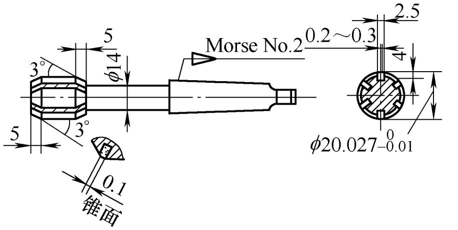
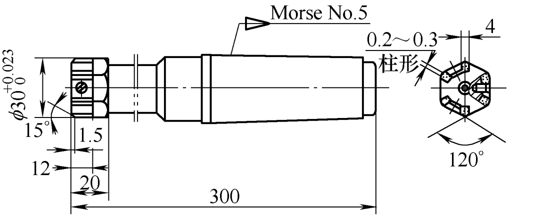
铰刀代号	调节范围	D	B	H	参考							
					b_1	b_2	b_3	硬质合金刀片尺寸（长×宽×厚）	γ_o/(°) A、B 型	γ_o/(°) AC、BC 型	α_o/(°)	f
20～22-20×8	20～22	20	20	8	7	6	1.5	1.8×2.5×2.0	0	15	0～4	0.10～0.15
22～24-20×8	22～24	22										
24～27-20×8	24～27	24										
27～30-20×8	27～30	27						18×3.0×2.0				
30～33-20×8	30～33	30								12		
33～36-20×8	33～36	33										
36～40-25×12	36～40	36	25	12	9.5			23×5.0×3.0		15		
40～45-25×12	40～45	40								12		
45～50-25×12	45～50	45										
50～55-25×12	50～55	50								10		
55～60-25×12	55～60	55										
(60～65-25×12)	60～65	60										
(65～70-25×12)	65～70	65										
(70～80-25×12)	70～80	70										
(50～55-30×16)	50～55	50	30	16	11	8	1.8	28×8.0×4.0		15		
(55～60-30×16)	55～60	55								12		
60～65-30×16	60～65	60										
65～70-30×16	65～70	65										
70～80-30×16	70～80	70										
80～90-30×16	80～90	80										
90～100-30×16	90～100	90										
100～110-30×16	100～110	100								6		
110～120-30×16	110～120	110										
120～135-30×16	120～135	120										
135～150-30×16	135～150	135										
(80～90-35×20)	80～90	80	35	20	13	9	2	33×10×5.0		12		
(90～100-35×20)	90～100	90								10		
(100～110-35×20)	100～110	100										
(110～120-35×20)	110～120	110										
(120～135-35×20)	120～135	120								6		
(135～150-35×20)	135～150	135										
150～170-35×20	150～170	150										
170～190-35×20	170～190	170										
(190～210-35×20)	190～210	190										
(210～230-35×20)	210～230	210										
(150～170-40×25)	150～170	150	40	25	15	10		38×14×5.0				
(170～190-40×25)	170～190	170										
190～210-40×25	190～210	190								4		
210～230-40×25	210～230	210										

注：图中的角度值仅供参考。

2.5.13 机用无刃铰刀

机用无刃铰刀是通过对工件孔壁的挤压和刮削，达到减小孔的表面粗糙度值和提高孔的精度的目的。挤压后的孔壁产生硬化层，可以提高孔的耐磨性。用机用无刃铰刀铰孔前，孔的精度要求接近 IT7 级，孔的表面粗糙度为 *Ra*1.6μm。机用硬质合金无刃铰刀的类型与用途见表 2-163。

表 2-163 机用硬质合金无刃铰刀的类型与用途

类型	简图	用途
硬质合金机用无刃铰刀		精度稳定在 IT7 级，表面粗糙度值 $Ra\leqslant0.4\mu m$，适用于加工淬火钢等高硬度钢
硬质合金机夹无刃铰刀		刀片采用楔块夹紧，结构简单，刀片可换，刀杆使用寿命长。刀片材料为 YG6X 或 YG8。精度稳定在 IT7 级，表面粗糙度值 *Ra* $\leqslant0.2\mu m$。适于加工淬火钢等高硬度钢

2.6 镗刀

2.6.1 镗刀的类型

（1）普通单刃镗刀 普通单刃镗刀常夹持在镗杆上使用，其结构与尺寸见表 2-164。

（2）机夹单刃镗刀 机夹单刃镗刀的结构与尺寸见表 2-165。

（3）弯头镗刀 弯头镗刀的结构与尺寸见表 2-166，可用于镗削不通孔。

（4）整体式双刃镗刀块 图 2-53 所示为整体式双刃镗刀块。其尺寸不可调整，安装后两切削刃与刀杆中心的对称度主要取决于镗刀块的制造与刃磨精度，常用于粗加工与半精加工。整体式双刃镗刀块结构与尺寸见表 2-167。

表 2-164 普通单刃镗刀的结构和尺寸 （单位：mm）

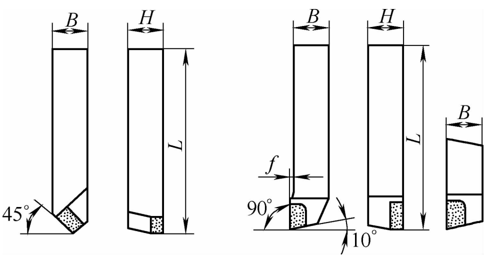
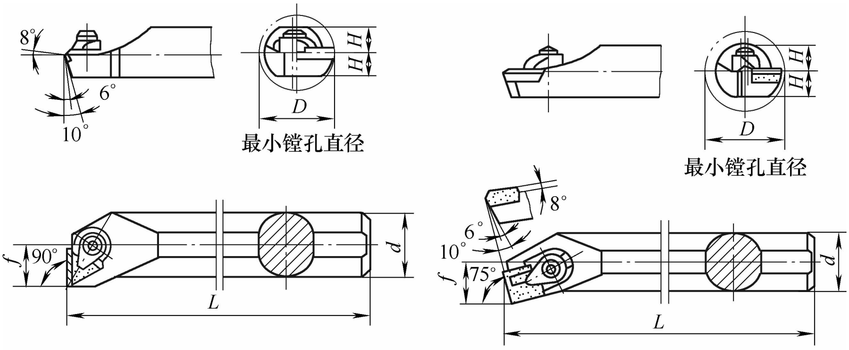
	$B\times H$	L	f
	8×8	25～40	2
	10×10	30～50	
	12×12	50～70	
	16×16	70～90	4
	20×20	80～100	

表 2-165 机夹单刃镗刀的结构与尺寸 （单位：mm）



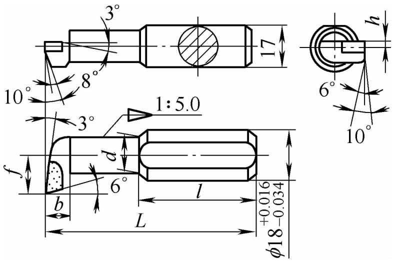
a) b)

d	L	f	H	D 最小镗孔直径	刀片内切圆	
					三角形	四方形
16	200	11	7	20	6.35	9.525
20	250	13	9	25		
25	300	17	11	32	9.525	12.70
32	350	22	14	40		

注：1. 表中图 a 为不通孔镗刀，图 b 为通孔镗刀。

2. 根据条件和用途，刀片形状和长度 L 可自定。

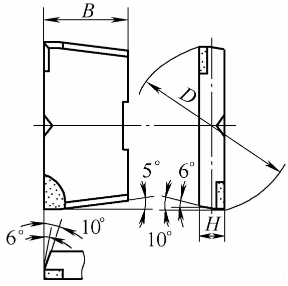
表 2-166 弯头镗刀的结构与尺寸 （单位：mm）



L	l	d	f	b	h
70	45	8	7	7	2
80		11	10		
90	50	14	12	9	1.5
		16	15	10	
100		17	18	14	1
125			20		

注：如用高速钢制作，杆部 l 可用 45 钢，于 d 交接处采取对焊。

表 2-167 整体式双刃镗刀块的结构和尺寸 （单位：mm）



（续）

公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H	公称直径 D	B	H
25 ~ 30	20	8	65 ~ 70	35	12	100 ~ 105	35	14	140 ~ 145	35	14
30 ~ 35			70 ~ 75			105 ~ 110			145 ~ 150		
35 ~ 40			75 ~ 80			110 ~ 115			150 ~ 155		
40 ~ 45	30	10	80 ~ 85			115 ~ 120			155 ~ 160		
45 ~ 50			85 ~ 90			120 ~ 125			160 ~ 165		
50 ~ 55	35	12	90 ~ 95			125 ~ 130			165 ~ 170		
55 ~ 60			95 ~ 100			130 ~ 135			170 ~ 175		
60 ~ 65						135 ~ 140					

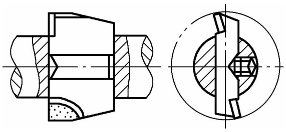


图 2-53 整体式双刃镗刀块

（5）可调双刃镗刀块 图 2-54 所示为可调双刃镗刀块。镗刀 7 用螺钉 8 调节，拧紧螺母 3 与螺钉 5 的圆锥体，推动滑块 4 以夹紧镗刀。整个镗刀块 6 是以螺钉 1 顶紧楔销 2 而固定。要取出镗刀块 6，只要将螺钉 1 稍微松动，取出垫块 9，镗刀块即可顺利取出。可调双刃镗刀块镗孔的尺寸范围为 50 ~ 260mm，其镗杆直径应大于 35mm，适用于孔的半精加工与精加工。

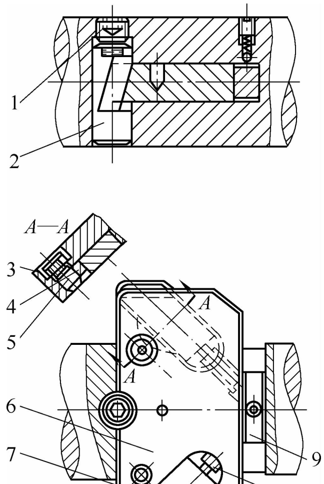


图 2-54 可调双刃镗刀块

1、5、8—螺钉 2—楔销 3—螺母 4—滑块 6—镗刀块 7—镗刀 9—垫块

（6）浮动镗刀块 JB/T 7426—2006 规定的硬质合金可调节浮动铰刀（见表 2-162），其功能本质上即为浮动镗刀块，一般是用于孔的终加工，加工精度可达 IT6 ~ IT7，表面粗糙度 Ra 为 1.6 ~ 0.8μm。

2.6.2 镗刀杆及镗刀架

常用于安装镗刀的镗刀杆，主要有以下几种类型：

1）锥柄 90°镗刀杆，其结构与尺寸见表 2-168。

2）锥柄轴向紧固 90°镗刀杆，其结构与尺寸见表 2-169。

3）锥柄 45°镗刀杆，其结构与尺寸见表 2-170。

4）锥柄 60°镗刀杆，其结构与尺寸见表 2-171。

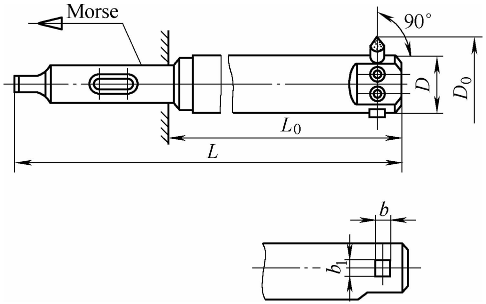
5）锥柄卡口镗铰刀杆，其结构与尺寸见表 2-172。

6）不通孔用锥柄卡口镗铰刀杆，其结构与尺寸见表 2-173。

7）锥柄镗铰刀杆，其结构与尺寸见表 2-174。

8）镗大孔用刀杆，其结构与尺寸见表 2-175。

表 2-168　锥柄 90°镗刀杆的结构与尺寸(JB/T 3411.83—1999)　　(单位:mm)



标记示例:

莫氏圆锥 5 号,$D=50$mm,$L=450$mm 的锥柄 90°镗刀杆标记为:

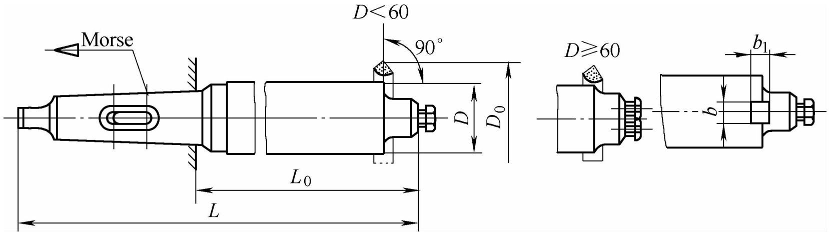
镗刀杆　5-50×450　JB/T 3411.83—1999

锥度号		D	D_0	b		b_1	L										
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0										
3	—	25	32~48	8	+0.130 +0.040	8.5	186.0			306.0							
		32	40~60	10		10.5		221.0			356.0						
		40	48~75	12	+0.160 +0.050	12.5	186.0			306.0		406.0					
4		25	32~48	8	+0.130 +0.040	8.5	162.5			282.5							
		32	40~60	10		10.5		197.5			332.5						
		40	48~75	12	+0.160 +0.050	12.5	162.5			282.5		382.5					
		50	60~95	16		16.5			237.5		332.5			512.5			
5		32	40~60	10	+0.130 +0.040	10.5			205.5			350.5		480.5			

（续）

锥度号		D	D_0	b		b_1	L										
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0										
		40	48～75	12	+0.160	12.5							410.5		560.5		
		50	60～95	16	+0.050	16.5			205.5		300.5			480.5		650.5	
5	—	60	72～115	20	+0.195	21.0											
		80	95～150		+0.065			165.5									
		100	120～190	25		26.0			205.5								
		32	40～60	10	+0.130 +0.040	10.5				190.0	—		350.0				
		40	48～75	12	+0.160	12.5					240.0				500.0		
6	—	50	60～95	16	+0.050	16.5				190.0	—	290.0		420.0		590.0	
		60	72～115	20	+0.195	21.0					240.0		350.0		500.0		690.0
		80	90～150		+0.065												
		100	120～190	25		26.0				190.0							
		40	48～75	12	+0.160	12.0								410.0			
		50	60～95	16	+0.050	16.0					230.0		340.0		490.0		
		60	72～115	20	+0.195	21.0								410.0	—	580.0	
	80	80	95～150		+0.065								340.0		490.0		
		100	120～190	25		26.0				180.0							
—		120	150～230	32	+0.240 +0.080	33.0											
		50	60～95	16	+0.160 +0.050	16.5							300.0		450.0		
		60	72～115	20	+0.195	21.0					190.0			370.0		560.0	
	100	80	95～150		+0.065								300.0		450.0		640.0
		100	120～190	25		26.0											
		120	150～230	32	+0.240	33.0				140.0							
		160	200～300		+0.080						190.0						

表 2-169　锥柄轴向紧固 90°镗刀杆的结构与尺寸(JB/T 3411.84—1999)　　　　(单位:mm)



标记示例:

莫氏圆锥 5 号,$D=50$mm,$L=450$mm 的锥柄轴向紧固 90°镗刀杆标记为:

镗刀杆　5-50×450　JB/T 3411.84—1999

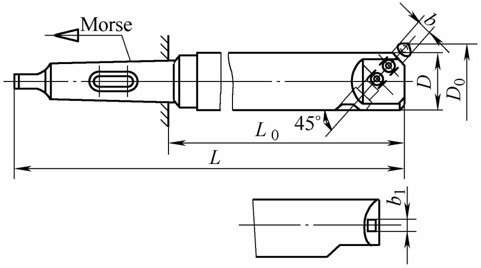
锥度号 莫氏	锥度号 米制	D	D_0	b 基本尺寸	b 极限偏差 D11	b_1	L 240	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0											
3	—	16	20～30	5	+0.105 0.030	5.5	146											
		20	24～38	6		6.5			221.0									
		25	32～48	8	+0.130 +0.040	8.5		186.0	—		306.0							
		32	40～60	10		10.5		—	221.0		—	356.0						
		40	48～75	12	+0.160 +0.050	12.5		186.0	—		306.0	—	406.0					
4		25	32～48	8	+0.130 +0.040	8.5		162.5			282.5							
		32	40～60	10		10.5		—	197.5		—	332.5						
		40	48～75	12	+0.160 +0.050	12.5		162.5	—		282.5	—	382.5					
		50	60～95	16		16.5				237.5		332.5	—		512.5			

（续）

锥度号		D	D_0	b		b_1	L											
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		240	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0											
		32	40 ~ 60	10	+0.130 +0.040	10.5						—	350.5		480.5			
		40	48 ~ 75	12	+0.160 +0.050	12.5				205.5				410.5		560.5		
5		50	60 ~ 95	16		16.5						300.5			480.5		650.5	
		60	72 ~ 115	20	+0.195 +0.065	21.0												
		80	95 ~ 150						165.5									
		100	120 ~ 190	25		26.0				205.5								
	—	32	40 ~ 60	10	+0.130 +0.040	10.5					190.0			350.0				
		40	48 ~ 75	12	+0.160 +0.050	12.5						240.0				500.0		
6		50	60 ~ 95	16		16.5					190.0	—	290.0	—	420.0	—	590.0	
		60	72 ~ 115	20	+0.195 +0.065	21.0						240.0		350.0		500.0		690.0
		80	95 ~ 150															
		100	120 ~ 190	25		26.0					190.0							
		40	48 ~ 75	12	+0.160 +0.050	12.5								—	410.0	—		
—	80	50	60 ~ 95	16		16.5						230.0		340.0	—	490.0		
		60	72 ~ 115	20	+0.195 +0.065	21.0								—	410.0	—	580.0	
		80	95 ~ 150								180.0			340.0		490.0		

锥度号		D	D_0	b		b_1	L											
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		240	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0											
—	80	100	120～190	25	+0.195 +0.065	26.0					180.0							
		120	150～230	32	+0.240 +0.080	33.0												
	100	50	60～95	16	+0.160 +0.050	16.5						190.0		300.0		450.0		
		60	72～115	20	+0.195 +0.065	21.0								—	370.0	—	560.0	
		80	95～150											300.0		450.0		640.0
		100	120～190	25		26.0												
		120	150～230	32	+0.240 +0.080	33.0					140.0							
		160	200～300									190.0						
	120	60	72～115	20	+0.195 +0.065	21.0									330.0		500.0	
		80	95～150									150.0		260.0		410.0		600.0
		100	120～190	25	+0.240 +0.080	26.0							200.0					
		120	150～230	32		33.0												
		160	200～300															
		180	230～350	40		41.0												
		200	240～380															

表 2-170 锥柄 45°镗刀杆的结构与尺寸(JB/T 3411.85—1999) (单位:mm)



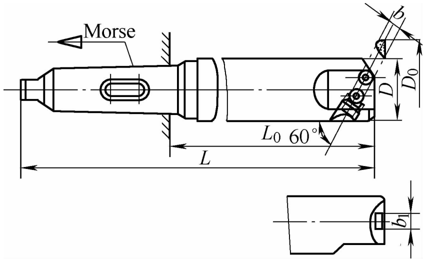
标记示例:

莫氏圆锥 5 号,$D=50$mm,$L=450$mm 的锥柄 45°镗刀杆标记为:

镗刀杆 5-50×450 JB/T 3411.85—1999

锥度号 莫氏	锥度号 米制	D	D_0	b 基本尺寸	b 极限偏差 D11	b_1	L=280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0										
3		25	30~45	8	+0.130	8.5	186.0			306.0							
		32	40~55	10	+0.040	10.5		221.0			356.0						
		40	50~65	12	+0.160 +0.050	12.5	186.0			306.0		406.0					
4		25	30~45	8	+0.130	8.5	162.5			282.5							
		32	40~55	10	+0.040	10.5		197.5			332.5						
		40	50~65	12	+0.160	12.5	162.5			282.5		382.5					
		50	60~85	16	+0.050	16.5			237.5		332.5			512.5			
5	—	32	40~55	10	+0.130 +0.040	10.5			205.5			350.5		480.5			
		40	50~65	12	+0.160	12.5					300.5		410.5		560.5		
		50	60~85	16	+0.050	16.5								480.5		650.0	
6		32	40~55	10	+0.130 +0.040	10.5				190.0			350.0				
		40	50~65	12	+0.160	12.5					240.5				500.5		
		50	60~85	16	+0.050	16.5						290.0		420.0		590.0	
—	80	40	50~65	12	+0.160	12.5					230.0			410.0			
		50	60~85	16	+0.050	16.5							340.0		490.0		
	100	40	50~65	12	+0.160	12.5					190.0		300.0		450.0		
		50	60~85	16	+0.050	16.5											

表 2-171　锥柄 60°镗刀杆的结构与尺寸（JB/T 3411.86—1999）　（单位：mm）



标记示例：

莫氏圆锥 5 号，$D=50\text{mm}$，$L=450\text{mm}$ 的锥柄 60°镗刀杆标记为：

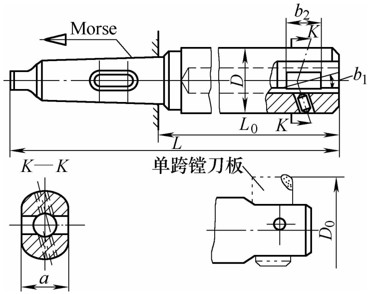
镗刀杆　5-50×450　JB/T 3411.86—1999

锥度号		D	D_0	b		b_1	L								
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0								
5	—	50	60～90	16	+0.160 +0.050	16.5	205.5		300.5			480.5		650.5	
5	—	60	72～110	20	+0.195 +0.065	21.0									
5	—	80	105～140	20	+0.195 +0.065	21.0									
5	—	100	120～160	25	+0.195 +0.065	26.0									
6	—	50	60～90	16	+0.160 +0.050	16.5		190.0		290.0		420.0		590.0	690.0
6	—	60	72～110	20	+0.195 +0.065	21.0			240.0		350.0		500.0		
6	—	80	105～140	20	+0.195 +0.065	21.0									
6	—	100	120～160	25	+0.195 +0.065	26.0		190.0							
—	—	50	60～90	16	+0.160 +0.050	16.5			230.0		340.0		490.0		

（续）

锥度号		D	D_0	b		b_2	L								
莫氏	米制			基本尺寸	极限偏差 D11		355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0								
—	80	60	72～110	20	+0.195 +0.065	21.0						410.0		580.0	
		80	105～140								340.0		490.0		
		100	120～160	25		26.0		180.0							
		120	150～225	32	+0.240 +0.080	33.0									
	100	50	60～90	16	+0.160 +0.050	16.5					300.0		450.0		
		60	72～110	20	+0.195 +0.065	21.0			190.0			370.0		540.0	
		80	105～140								300.0		450.0		640.0
		100	120～160	25		26.0									
		120	150～225	32	+0.240 +0.080	33.0		140.0							
		160	200～290						190.0						

表 2-172　锥柄卡口镗铰刀杆的结构与尺寸（JB/T 3411.87—1999）　（单位：mm）



标记示例：

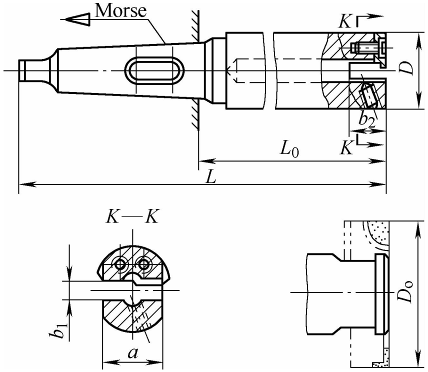
莫氏圆锥 5 号，$D=50$mm，$L=450$mm 的锥柄卡口镗铰刀杆标记为：

镗刀杆　5-50×450　JB/T 3411.87—1999

（续）

锥度号		D	D_0	a	b_1	b_2	L											
莫氏	米制						240	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0											
4	—	20	24～36	18	8	20	122.5		197.5									
		25	30～45	22				162.5			282.5							
		32	38～58	28	12	25			197.5			332.5						
		40	48～72	36				162.5			282.5		382.5					
		50	60～90	44	16	30				237.5		332.5			512.5			
5		32	38～58	28	12	25							350.5		480.5			
		40	48～72	36						205.5		300.5		410.5		560.5		
		50	60～90	44	16	30									480.5		650.5	
		60	72～110	56	20	35			165.5									
		80	90～145	74														
		100	120～180	92	25	40				205.5								
6		32	38～58	28	12	25					190.0			350.0				
		40	48～72	36								240.0				500.0		
		50	60～90	44	16	30					190.0		290.5		420.0		590.0	
		60	72～110	56	20	35						240.0		350.0		500.0		690.0
		80	90～145	74														
		100	120～180	92	25	40					190.0							
—	80	40	48～72	36	12	25						230.0			410.0			
		50	60～90	44	16	30								340.0		490.0		
		60	72～110	56	20	35									410.0		580.0	
		80	90～145	74										340.0		490.0		
		100	120～180	92	25	40					180.0							
		120	150～230	112														

表 2-173 不通孔用锥柄卡口镗铰刀杆的结构与尺寸(JB/T 3411.88—1999) (单位:mm)



标记示例:

莫氏圆锥 5 号,$D=50$mm,$L=450$mm 的不通孔用锥柄卡口镗铰刀杆标记为:

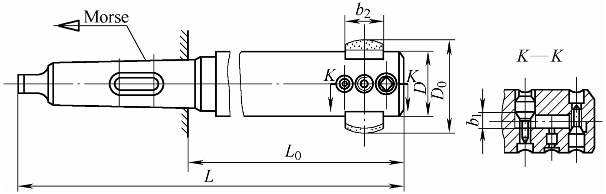
镗刀杆 5-50×450 JB/T 3411.88—1999

锥度号		D	D_0	a	b_1	b_2	L										
莫氏	米制						280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0										
4	—	32	38~58	28	12	25		197.5	—	—	332.5						
		40	48~72	36			162.5	—		282.5	—	382.5					
		50	60~90	44	16	30			237.5	—	332.5	—	—	512.5			
5		32	38~58	28	12	25					—	350.5		480.5			
		40	48~72	36					205.3				410.5	—	560.5		
		50	60~90	44	16	30					300.5			480.5	—	650.5	
		60	72~110	56	20	35											
		80	95~145	72				165.5									
		100	120~180	92	25	40			205.3								
6		32	38~58	28	12	25				190.5	—	—	350.0				

（续）

锥度号		D	D_0	a	b_1	b_2	L										
莫氏	米制						280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900
							L_0										
6	—	40	48 ~ 72	36	12	35					240. 0	—	350. 0	—	500. 0		
		50	60 ~ 90	44	16	30				190. 5	—	290. 5	—	420. 0	—	590. 0	
		60	72 ~ 110	56	20	35					240. 0		350. 0		500. 0	—	690. 0
		80	95 ~ 145	72													
		100	120 ~ 180	92	25	40				190. 5							
—	80	40	48 ~ 72	36	12	25								410. 0			
		50	60 ~ 90	44	16	30					230. 0	—	340. 0		490. 0		
		60	72 ~ 110	56	20	35							—	410. 0	—	580. 0	
		80	95 ~ 145	72									340. 0		490. 0		
		100	120 ~ 180	92	25	40				180. 0							
		120	150 ~ 230	112													

表 2-174　锥柄镗铰刀杆的结构与尺寸（JB/T 3411. 89—1999）　　（单位：mm）



标记示例：

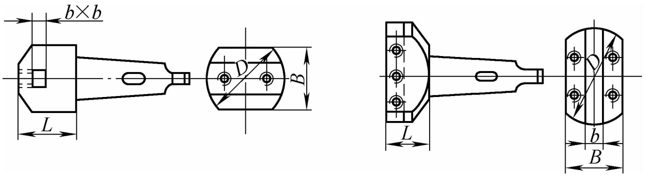
莫氏圆锥 6 号，刀孔尺寸 $b_1 \times b_2$ 为 Ⅰ系列，D = 80mm，L = 560mm 的锥柄镗铰刀杆标记为：

镗刀杆　6-I80 × 560　JB/T 3411. 89—1999

（续）

<table>
<tr><th colspan="2">锥度号</th><th rowspan="3">D</th><th rowspan="3">D_0</th><th colspan="4">刀孔尺寸</th><th colspan="11">L</th></tr>
<tr><th rowspan="2">莫氏</th><th rowspan="2">米制</th><th colspan="2">Ⅰ</th><th colspan="2">Ⅱ</th><th>280</th><th>315</th><th>355</th><th>400</th><th>450</th><th>500</th><th>560</th><th>630</th><th>710</th><th>800</th><th>900</th></tr>
<tr><th>b_1</th><th>b_2</th><th>b_1</th><th>b_2</th><th colspan="11">L_0</th></tr>
<tr><td rowspan="4">4</td><td rowspan="16">—</td><td>25</td><td>30 ~ 50</td><td>8</td><td>20</td><td>8</td><td>20</td><td>162. 5</td><td></td><td rowspan="3"></td><td>282. 5</td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="5"></td><td rowspan="6"></td><td rowspan="13"></td></tr>
<tr><td>32</td><td>40 ~ 65</td><td rowspan="6">12</td><td rowspan="6">25</td><td>10</td><td>25</td><td></td><td>197. 5</td><td>—</td><td>332. 5</td></tr>
<tr><td>40</td><td>50 ~ 80</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">35</td><td>162. 5</td><td rowspan="6"></td><td>282. 5</td><td>—</td><td>382. 5</td></tr>
<tr><td>50</td><td>60 ~ 100</td><td rowspan="24"></td><td>237. 5</td><td>—</td><td>332. 5</td><td>—</td><td rowspan="2">—</td><td>512. 5</td></tr>
<tr><td rowspan="6">5</td><td>32</td><td>40 ~ 65</td><td>10</td><td>25</td><td rowspan="4">205. 5</td><td rowspan="6"></td><td>—</td><td>350. 5</td><td>480. 5</td></tr>
<tr><td>40</td><td>50 ~ 80</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="3">300. 5</td><td rowspan="7"></td><td>410. 5</td><td>—</td><td>560. 5</td></tr>
<tr><td>50</td><td>60 ~ 100</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="2">480. 5</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">650. 5</td></tr>
<tr><td>60</td><td>72 ~ 120</td><td>16</td><td>30</td><td>16</td><td>45</td></tr>
<tr><td>80</td><td>95 ~ 160</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">60</td><td>165. 5</td><td rowspan="19">205. 5</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="4"></td><td rowspan="3"></td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>100</td><td>120 ~ 200</td><td rowspan="18"></td></tr>
<tr><td rowspan="6">6</td><td>32</td><td>40 ~ 65</td><td rowspan="3">12</td><td rowspan="3">25</td><td>10</td><td>25</td><td>190. 0</td><td rowspan="2">350. 5</td></tr>
<tr><td>40</td><td>50 ~ 80</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">35</td><td></td><td>240. 0</td><td>500. 0</td></tr>
<tr><td>50</td><td>60 ~ 100</td><td>190. 0</td><td>—</td><td>290. 0</td><td>—</td><td>420. 0</td><td>—</td><td>590. 0</td></tr>
<tr><td>60</td><td>72 ~ 120</td><td>16</td><td>30</td><td>16</td><td>45</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">240. 0</td><td rowspan="14"></td><td rowspan="2">350. 0</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2">500. 0</td><td rowspan="5"></td><td>690. 0</td></tr>
<tr><td>80</td><td>95 ~ 160</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="10"></td></tr>
<tr><td>100</td><td>120 ~ 200</td><td>190. 0</td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="11">—</td><td rowspan="6">80</td><td>40</td><td>50 ~ 80</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">25</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">230. 0</td><td>410. 0</td></tr>
<tr><td>50</td><td>60 ~ 100</td><td>340. 0</td><td>—</td><td>490. 0</td></tr>
<tr><td>60</td><td>72 ~ 120</td><td>16</td><td>30</td><td>16</td><td>45</td><td>—</td><td>410. 0</td><td>—</td><td>580. 0</td></tr>
<tr><td>80</td><td>95 ~ 160</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="3">180. 0</td><td rowspan="3"></td><td>340. 0</td><td rowspan="3"></td><td>490. 0</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>100</td><td>120 ~ 200</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>120</td><td>150 ~ 250</td><td>25</td><td>40</td><td>25</td><td>75</td></tr>
<tr><td rowspan="5">100</td><td>50</td><td>60 ~ 100</td><td>12</td><td>25</td><td>12</td><td>35</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4">190. 0</td><td>300. 0</td><td>—</td><td>450. 0</td></tr>
<tr><td>60</td><td>72 ~ 120</td><td>16</td><td>30</td><td>16</td><td>45</td><td></td><td>370. 0</td><td>—</td><td>560. 0</td></tr>
<tr><td>80</td><td>95 ~ 160</td><td rowspan="2">20</td><td rowspan="2">35</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">60</td><td rowspan="2">300. 0</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="2">450. 0</td><td>—</td><td>640. 0</td></tr>
<tr><td>100</td><td>120 ~ 200</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>120</td><td>150 ~ 250</td><td>25</td><td>40</td><td>25</td><td>75</td><td>140. 0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表 2-175 镗大孔用刀杆的结构与尺寸 （单位:mm）



莫氏锥度号	D	L	B	b	镗孔直径范围	莫氏锥度号	D	L	B	b	镗孔直径范围
5	75	75	—	20	85 ~ 150	5	140	60	90	25	150 ~ 240
	90		—	25	102 ~ 190		220	70			230 ~ 320
6	110	80	85		122 ~ 210	6	200				210 ~ 300
	130		100		142 ~ 230		280	80			290 ~ 380

9）可调节镗刀架，其结构与尺寸见表 2-176 ~ 表 2-179。由图 2-55 可见，镗刀装在可调节镗刀架上，构成可调节镗头，镗头锥体 1 与铣床主轴孔配合，转动螺杆 2 时，可精确移动带刻线的燕尾块 3，从而微量改变镗刀的径向位置，达到改变孔径尺寸的目的。

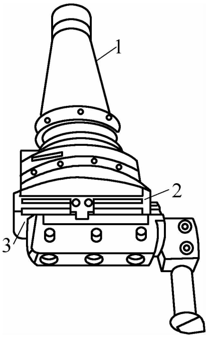


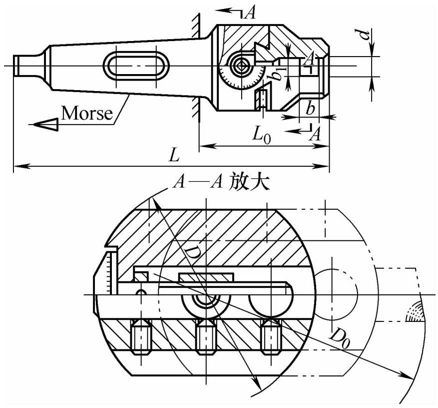
图 2-55 可调节镗头

1—镗头锥体 2—螺杆 3—燕尾块

2.6.3 镗套

镗套是用来引导和支承镗刀或镗刀杆进行镗孔的导向元件。固定式镗套的结构与尺寸见表 2-180，镗套用衬套的结构与尺寸见表 2-181，固定衬套、镗套等配合公差见表 2-182。

表 2-176 锥柄可调镗刀架的结构与尺寸（JB/T 3411.91—1999）（单位:mm）



标记示例：

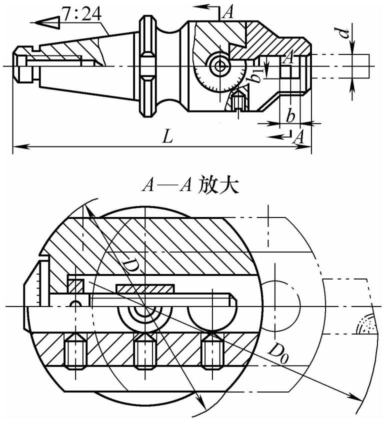
莫氏圆锥 6 号，D = 120mm 的锥柄可调镗刀架标记为：

镗刀架 6-120 JB/T 3411.91—1999

锥度号		D	D_0	d	b		b_1	L	L_0
莫氏	米制				基本尺寸	极限偏差 D11			
5	—	80	25 ~ 150	16	12	+0.160 +0.050	12.5	240	90.5
6		120	35 ~ 220	25	20	+0.195 +0.065	21.0	355	145.0
—	80	150	40 ~ 280	30	25		26.0	380	160.0

表 2-177 7∶24 锥柄可调镗刀架的结构与尺寸(JB/T 3411.92—1999)

(单位:mm)



标记示例:

7∶24 锥度 50 号,$D=120$mm 的 7∶24 锥柄可调镗刀架标记为:

镗刀架 50-120 JB/T 3411.92—1999

7∶24 锥度号	D	D_0	d	b		b_1	L
				基本尺寸	极限偏差 D11		
40	80	25 ~ 150	16	12	+0.160 +0.050	12.5	207
50	120	35 ~ 220	25	20	+0.195 +0.065	21.0	285
	150	40 ~ 280	30	25		26.0	330

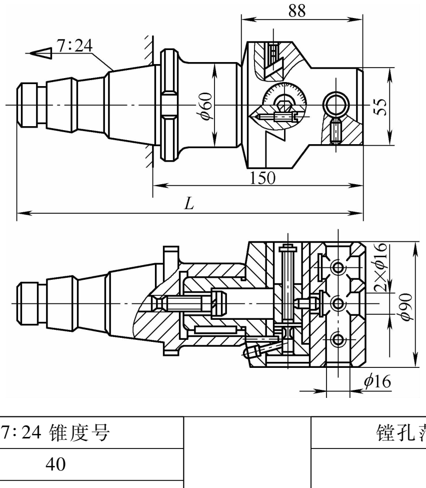
注:1. 7∶24 圆锥的尺寸和偏差按 GB/T 3837—2001《7∶24 手动换刀刀柄圆锥》的规定。

2. 调节丝杠的刻度值,每格调节量不大于 0.02mm。

3. 径向方刀孔允许制成圆孔。

表 2-178 A 型可换锥柄式可调镗刀架的结构与尺寸(JB/T 3411.93—1999)

(单位:mm)



标记示例:

7∶24 锥度 50 号,$L=276$mm 的 A 型 7∶24 锥柄可调镗刀架标记为:

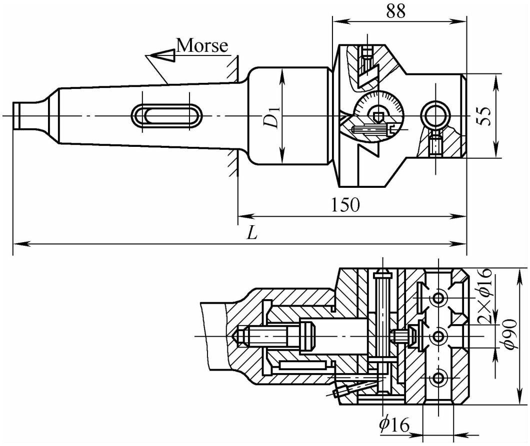
镗刀架 50-A276 JB/T 3411.93—1999

7∶24 锥度号		镗孔范围		L	
40		5 ~ 165		244	
45				256	
50				276	

注:1. 7∶24 圆锥的尺寸和偏差按 GB/T 3837—2001《7∶24 手动换刀刀柄圆锥》。

2. 对调节丝杠的刻度值,每格调节量不大于 0.02mm。

表 2-179 B 型可换锥柄式可调镗刀架(JB/T 3411.93—1999) (单位:mm)



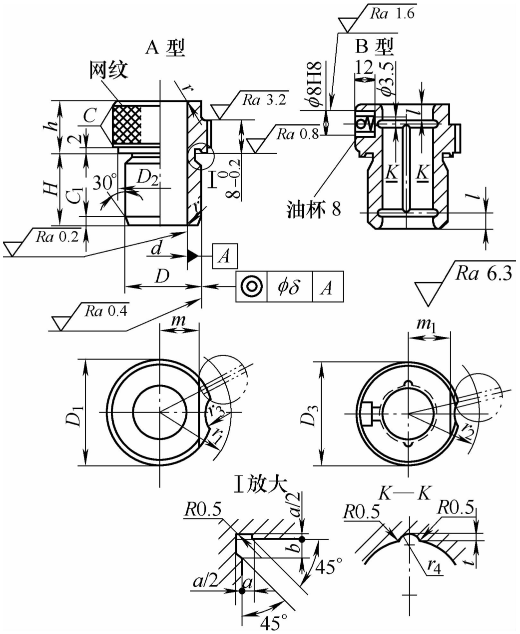
标记示例:

莫氏圆锥 5 号,$L=300$mm 的 B 型可调镗刀架标记为:

镗刀架 5-B300 JB/T 3411.93—1999

锥度号			镗孔范围	D_1		L	
莫氏	米制						
4	—		5 ~ 165	60		270	
5						300	
6				65		360	
—	80			80		370	

表 2-180 固定式镗套的结构与尺寸(JB/T 8046.1—1999) (单位:mm)



标记示例:

$d=40$mm,公差带为 H7;$D=50$mm,公差带为 g5,$H=60$mm 的 A 型镗套:

镗套 A40H7 × 50g5 × 60 JB/T 8046.1—1999

（续）

d	基本尺寸	20	22	25	28	32	35	40	45	50
	极限偏差 H6	+0.013 0				+0.016 0				
	极限偏差 H7	+0.021 0				+0.025 0				
D	基本尺寸	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差 g5	−0.007 −0.016		−0.009 −0.020					−0.010 −0.023	
	极限偏差 g6	−0.007 −0.020		−0.009 −0.025					−0.010 −0.029	
H		20		25		35				45
		25		35		45				60
		35		45		55		60		80
l		—			6			8		
D_1（滚花前）		34	38	42	46	52	56	62	70	75
D_2		32	36	40	44	50	54	60	65	70
D_3（滚花前）		—			56	60	65	70	75	80
h		15						18		
m		13	15	17	18	21	23	26	30	32
m_1		—			23	25	28	30	33	35
r		1		1.5			2			
r_1		22.5	24.5	26.5	30	33	35	38	43.5	46
r_2		—			35	37	39.5	42	46	48.5
r_3		9			11				12.5	
r_4		—			2					
t		—			1.5					
a		0.5		1						
b		2		3					4	
C		1						1.5		
C_1		1.5		2					2.5	
配用螺钉		M8×8 GB/T 830—1988			M10×8 GB/T 830—1988				M12×8 JB/T 8046.3—1999	

（续）

d	基本尺寸	55	60	70	80	90	100	120	160
	极限偏差 H6	+0.019 0				+0.022 0			+0.025 0
	极限偏差 H7	+0.030 0				+0.035 0			+0.040 0
D	基本尺寸	65	75	85	100	110	120	145	185
	极限偏差 g5	−0.010 −0.023		−0.012 −0.027				−0.014 −0.032	−0.015 −0.035
	极限偏差 g6	−0.010 −0.029		−0.012 −0.034				−0.014 −0.039	−0.015 −0.044
H		45		60		80		100	125
		60		80		100		125	160
		80		100		125		160	200
l		8							
D_1（滚花前）		80	90	105	120	130	140	165	220
D_2		75	85	100	115	125	135	160	210
D_3（滚花前）		85	90	105	120	130	140	165	220
h	18								
m		35	40	47	54	58	65	75	105
m_1		38							
r	2	3					4		
r_1		48.5	53.5	61	68.5	75.5	81	93	121
r_2		51							
r_3		12.5				16			
r_4		2		2.5					
t		15		2					
a		1							
b		4							
C		1.5							
C_1		2.5						3	
配用螺钉		M12×8 JB/T 8046.3—1999				M16×8 JB/T 8046.3—1999			

注：1. *d* 或 *D* 的公差带，*d* 与镗杆外径或 *D* 与衬套内径的配合间隙也可由设计确定。

2. 当 *d* 的公差带为 H7 时，*d* 孔的表面粗糙度值为 *Ra*0.4μm。

3. 材料：20 钢按 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》；HT200 按 GB/T 9439—2010《灰铸铁件》。

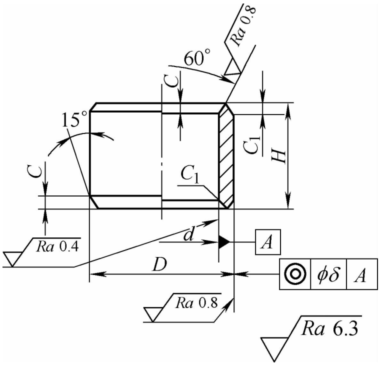
4. 热处理：20 钢，渗碳深度 0.8～1.2mm，硬度 55～60HRC，HT200 粗加工后进行时效处理。

5. *d* 的公差带为 H6 时，当 $D<85$mm，$\delta=0.005$mm；$D\geqslant85$mm，$\delta=0.01$mm；*d* 的公差带为 H7 时，$\delta=0.010$mm。

6. 油槽锐角磨后倒钝。

7. 其他技术条件按 JB/T 8044—1999《机床夹具零件及部件　技术要求》。

表 2-181 镗套用衬套的结构与尺寸（JB/T 8046.2—1999）



标记示例：

$d = 32$mm，公差带为 H6；$H = 25$mm 的镗套用衬套：

衬套 32H6×25 JB/T 8046.2—1999

d	基本尺寸	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差 H6[①]	+0.013 0		+0.016 0					+0.019 0	
	极限偏差 H7[①]	+0.021 0		+0.025 0					+0.030 0	
D	基本尺寸	30	34	38	42	48	52	58	65	70
	极限偏差 n6	+0.028 +0.015	+0.033 +0.017				+0.039 +0.020			
H		20		25		35				45
		25		35		45				60
		35		45		55		60		80
C		2	2.5						3	
C_1		0.6			1					
d	基本尺寸	65	75	85	100	110	120	145	185	
	极限偏差 H6[①]	+0.019 0		+0.022 0				+0.025 0	+0.029 0	
	极限偏差 H7[①]	+0.030 0		+0.035 0				+0.040 0	+0.046 0	
D	基本尺寸	75	85	100	115	125	135	160	210	
	极限偏差 n6	+0.039 +0.020	+0.045 +0.023			+0.052 +0.027			+0.060 +0.031	
H		45		60		80		100		125
		60		80		100		125		160
		80		100		125		160		200
C		3						4		
C_1		2					2.5			

注：1. 材料：20 钢，按 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》。

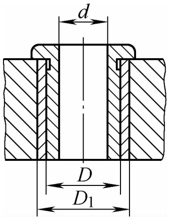
2. 热处理：渗碳深度 0.8～1.2mm，硬度 58～64HRC。

3. d 的公差带为 H6 时，当 $D < 52$mm，$\delta = 0.005$mm；当 $D \geqslant 52$mm，$\delta = 0.010$mm。d 的公差带为 H7 时，$\delta = 0.010$mm。

4. 其他技术条件按 JB/T 8044—1999《机床夹具零件及部件 技术要求》。

① H6 或 H7 为装配后公差带，零件加工尺寸需由工艺决定。

表 2-182 固定衬套、镗套等配合公差

<table>
<tr><th rowspan="2">结构简图</th><th rowspan="2" colspan="2">工艺方法</th><th colspan="3">配合公差代号</th></tr>
<tr><th>d</th><th>D</th><th>D_1</th></tr>
<tr><td rowspan="6">
</td><td rowspan="2">钻孔</td><td>刀具切削部分引导</td><td>$\frac{F8}{h6}$、$\frac{G7}{h6}$</td><td rowspan="2">$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{f7}$</td><td rowspan="2">$\frac{H7}{s6}$、$\frac{H7}{r6}$、$\frac{H7}{n6}$</td></tr>
<tr><td>刀具柄部或接杆引导</td><td>$\frac{H7}{f7}$、$\frac{H7}{g6}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">铰孔</td><td>粗铰</td><td>$\frac{G7}{h6}$、$\frac{H7}{h6}$</td><td>$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{h6}$</td><td rowspan="4">$\frac{H7}{r6}$、$\frac{H7}{n6}$</td></tr>
<tr><td>精铰</td><td>$\frac{G6}{h5}$、$\frac{H6}{h5}$</td><td>$\frac{H6}{g5}$、$\frac{H6}{h5}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">镗孔</td><td>粗镗</td><td>$\frac{H7}{h6}$</td><td>$\frac{H7}{g6}$、$\frac{H7}{h6}$</td></tr>
<tr><td>精镗</td><td>$\frac{H6}{h5}$</td><td>$\frac{H6}{g5}$、$\frac{H6}{h5}$</td></tr>
</table>

第 3 章　铣床附件及夹具

3.1　铣床附件

铣床的常用附件有机用虎钳、回转工作台、万能分度头、立铣头等。这些附件是一种已经标准化的、可加工一定范围内的不同工件的夹具，亦称为通用夹具。

3.1.1　机用虎钳

机用虎钳的结构见图 3-1。虎钳通过虎钳体 1 固定在机床上。固定钳口 2 和钳口铁 3 起垂直定位作用，虎钳体 1 上的导轨平面起水平定位作用。活动座 8、螺母 7、丝杠 6（及方头 9）和紧固螺钉 11 可作为夹紧元件。回转底座 12 和定位键 14 分别起角度分度和夹具定位的作用。机用虎钳主要用于装夹长方形工件，也可用于装夹圆柱形工件。

铣床用虎钳和可倾式机用虎钳的规格尺寸分别见表 3-1 和表 3-2。可倾式机用虎钳的钳口可倾斜一定角度，可铣削带一定倾斜角度的小型工件。

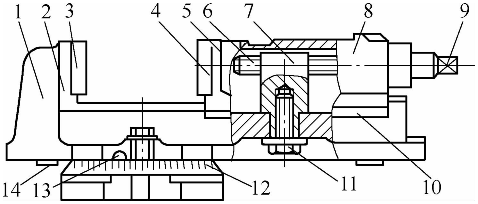
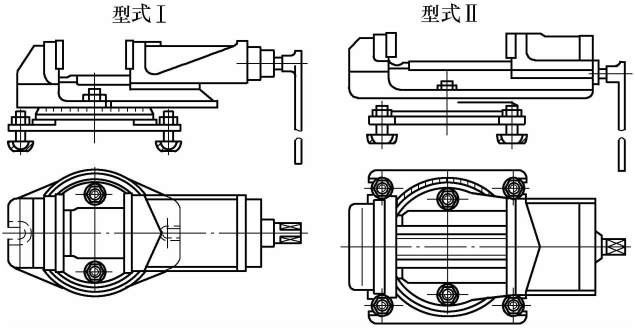


图 3-1　机用虎钳的结构

1—虎钳体　2—固定钳口　3、4—钳口铁　5—活动钳口　6—丝杠　7—螺母　8—活动座　9—方头　10—压板　11—紧固螺钉　12—回转底座　13—钳座零线　14—定位键

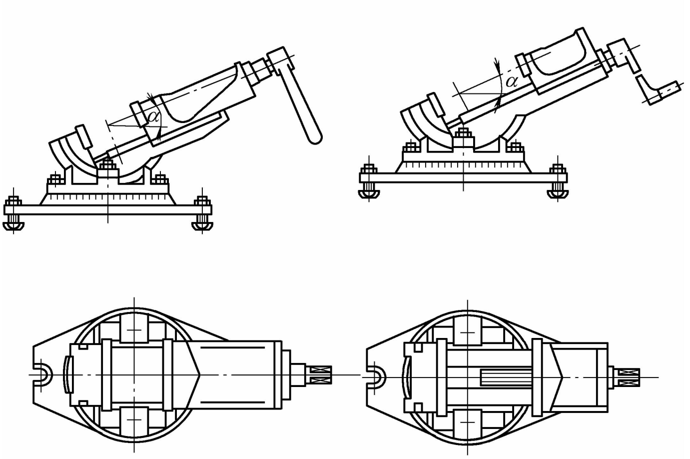
表 3-1　铣床用虎钳的规格尺寸



名称	型号	技术规格/mm					外形尺寸（长×宽×高）/mm
		钳口宽度	钳口最大张开度	钳口高度	定位键宽度	紧固螺栓直径	
铣床用虎钳	Q1280	80	65	35	—	—	259×130×105
	Q12100	100	80	40	14	M12	310×160×120
	Q12125	125	100	45			343×180×125
	Q12160	160	125	50	18		404×230×155
	Q12200	200	160	63		M16	468×270×175
	Q12250	250	200	56	22		640×340×250

表 3-2 可倾式机用虎钳的规格尺寸

型式Ⅰ 型式Ⅱ



名称	型号	技术规格									外形尺寸（长×宽×高）/mm
		钳口宽度/mm	钳口最大张开度/mm	钳口高度/mm	丝杠方头对边宽度/mm	定位键宽度/mm	紧固螺栓直径/mm	水平回转角度/(°)	前倾最大角度/(°)	度盘刻划值/(°)	
可倾式机用虎钳	Q41100	100	80	40	17	14	M12	360	90	1	319×180×147
	Q41125	125	100	45							383×226×159
	Q41160	160	125	50		18	M16				442.5×250×196

3.1.2 回转工作台

当铣削有弧形表面的工件时，可用回转工作台安装。图 3-2a 所示的手动回转工作台可用于加工圆弧面（见图 3-2b）和较大工件的分度。摇动手轮 4，通过工作台内部的蜗杆蜗轮传动机构，使转台 2 绕轴线转动。转台圆周面上刻有 360°刻线，可作为分度的依据。转台中央的孔便于工件定位。

常用回转工作台的规格尺寸见表 3-3。

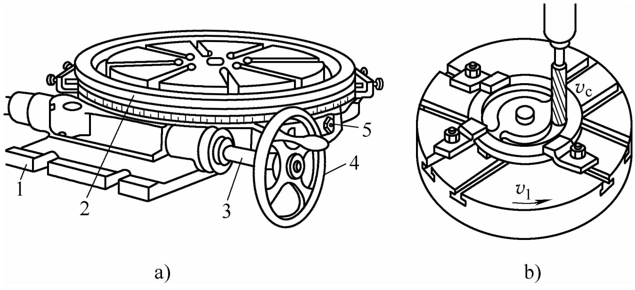
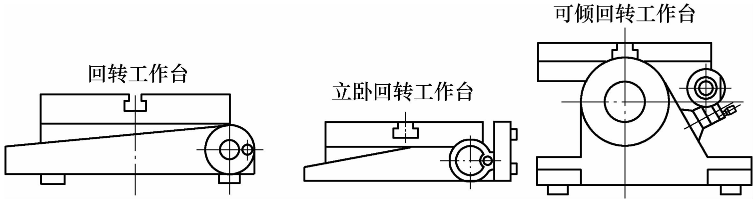


图 3-2 用回转工作台安装工件

a）手动回转工作台 b）铣削弧形槽

1—底座 2—转台 3—蜗杆轴 4—手轮 5—固定螺钉

表 3-3 常用回转工作台的规格尺寸



(1) 回转工作台

<table>
<tr><th rowspan="3">名称</th><th rowspan="3">型号</th><th colspan="10">技 术 规 格</th><th rowspan="3">外形尺寸(长×宽×高)/mm</th></tr>
<tr><th rowspan="2">工作台台面直径/mm</th><th rowspan="2">中心锥孔莫氏锥度号</th><th rowspan="2">中心锥孔大端直径/mm</th><th rowspan="2">定位孔直径/mm</th><th rowspan="2">定位键宽度/mm</th><th rowspan="2">T形槽宽度/mm</th><th rowspan="2">度、分、秒、刻划值</th><th rowspan="2">蜗杆副传动比</th><th colspan="2">分度精度</th></tr>
<tr><th>普通</th><th>精密</th></tr>
<tr><td rowspan="4">机动回转工作台</td><td rowspan="2">T11320
T11400</td><td rowspan="2">320
400</td><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">31.267</td><td rowspan="2">38、40</td><td rowspan="4">18</td><td rowspan="2">14</td><td>4°, 2′</td><td>90</td><td colspan="2" rowspan="4">1′</td><td rowspan="4">586×450×132
630×483×140
669×538×140
695×570×140
748×627×150
855×925×150</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3°, 2′</td><td rowspan="2">120</td></tr>
<tr><td rowspan="2">T11500
T11630</td><td rowspan="2">500
630</td><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">44.399</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>2°, 1′</td><td>180</td></tr>
<tr><td rowspan="3">精密手动回转工作台</td><td>TM12250C
TM12320C</td><td>250
320</td><td>3
4</td><td>23.825
31.267</td><td>30
40</td><td>14
18</td><td>12
14</td><td>1°, 5″</td><td>180</td><td colspan="2">30″</td><td>413.5×413.5×370
494.5×450×146</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TM12600</td><td rowspan="2">600</td><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">23.825</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">—</td><td>T形槽槽数</td><td rowspan="2">1°, 1″</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">10″</td><td rowspan="2">4″</td><td rowspan="2">806×761×180</td></tr>
<tr><td>8</td></tr>
<tr><td rowspan="10">手动回转工作台</td><td rowspan="3">T12160A
T12200A
T12250A
T12320A
T12160</td><td rowspan="3">160
200
250
320
160</td><td>2</td><td>17.780</td><td>25</td><td>12</td><td>10</td><td rowspan="9">1°, 2″</td><td rowspan="5">90</td><td rowspan="3">1′</td><td rowspan="3">45″</td><td rowspan="5">285×343×125
303×382×125
345×432×125
410×469×140
315×240×85
342×270×90
430×330×95</td></tr>
<tr><td>3</td><td>23.825</td><td>30</td><td>14</td><td>12</td></tr>
<tr><td>4
2</td><td>31.267
17.780</td><td>40
30</td><td>18
12</td><td>14
10</td></tr>
<tr><td>T12200</td><td>200</td><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">23.825</td><td rowspan="2">32</td><td rowspan="2">14</td><td rowspan="2">12</td><td colspan="2" rowspan="2">1′</td></tr>
<tr><td>T12250</td><td>250</td></tr>
<tr><td rowspan="2">T12320
T12400</td><td>320</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">18</td><td rowspan="2">14</td><td rowspan="4">120</td><td colspan="2" rowspan="5">—</td><td rowspan="5">610×420×133
640×520×133
595×605×140
823×750×145
1100×800×200</td></tr>
<tr><td>400</td></tr>
<tr><td>T12500</td><td>500</td><td rowspan="2">5 号
5 号</td><td rowspan="2">44.399
44.399</td><td rowspan="2">50
50</td><td rowspan="2">22</td><td rowspan="2">20
20</td></tr>
<tr><td rowspan="2">T12630
T12800</td><td rowspan="2">630
800</td></tr>
<tr><td>6 号</td><td>63.348</td><td>75</td><td>28</td><td>22</td><td>1°, 1′</td><td>180</td></tr>
<tr><td>手动机械回转工作台</td><td>T12250—1</td><td>250</td><td>3 号</td><td>23.825</td><td>32</td><td>14</td><td>12</td><td>1°, 2′</td><td>90</td><td colspan="2">1′</td><td>335×435×100</td></tr>
</table>

（续）

（2）立卧回转工作台

名称	型号	技术规格										外形尺寸（长×宽×高）/mm
		工作台台面直径/mm	主轴锥孔莫氏锥度号	主轴锥孔大端直径/mm	定位孔直径/mm	定位键宽度/mm	T形槽宽度/mm	蜗杆副传动比/mm	立时中心高/mm	度、分、秒、刻划值	分度精度	
立卧回转工作台	T13160	160	2	17.780	30	12	10	90	155	—	1′	306×270×115
	T13200	200	3	23.825	32	14	12		175 150			335×300×125 302×380×125
	T13250	250	3	23.825	32 30	14	12		200 170			390×370×130 335×433×125
	T13320	320	4	31.267	40	18	14		250 210			521×421×133 410×506×140
精密立卧回转工作台	TM13250B TM13320B	250 320	3 4	23.825 31.267	30 40	14 18	12 14	180	185 225	1°，1′，5″	30″	374.5×370×125 450×444.5×146

（3）可倾回转工作台

名称	型号	技术规格												外形尺寸（长×宽×高）/mm
		工作台台面直径/mm	主轴锥孔莫氏锥度号	主轴锥孔大端直径/mm	定位孔直径/mm	定位键宽度/mm	T形槽宽度/mm	蜗杆副传动比	最小分辨率	台面最大载荷/kg	分度精度		台面最大倾角/(°)	
											普通	精密		
可倾回转工作台	T14250	250	3	23.825	30H7	14	12	1:90	—	—	45″		90	378×497×210
	T14320	320	4	31.267	40H7	18	14							432×602×255
	T14400	400	5	44.399	20			1:360	1″	100	10″			840×585×320
万能回转工作台	T15440	440	3	23.825	T形槽槽数	度、秒刻划值	—	—	235	200	10″	5″	—	790×580×320
					8	1°，1″								

（续）

（4）端齿回转工作台

名称	型号	技术规格											外形尺寸（长×宽×高）/mm
		工作台台面直径/mm	定位孔直径/mm	定位键宽度/mm	T形槽宽度/mm	端齿盘齿数	台面最大转矩/(N·m)	分度值	底座尺寸（长×宽）/mm	台面最大载荷/kg	分度精度	重复精度	
端齿等分回转分度台	T5190×120 T5190×144	90	18H7	8js6	8H7	120 144 180	—	3° 2°30′ 2°	90×90	—	2″	1″	90×90×65
	T51120×180 T51120×240	120				240		1°30′	120×120				120×120×75
	T51144×240 T51144×360	144				360		1°	150×150				150×150×90
	T51112	112	12H7	—	8H7	120		3°	120×120		30″, 20″, 10″	—	120×120×80
	T51170	170	18H7		12H7	240, 360		1°30′, 1°	180×180				180×180×130
	T51230	230							240×240				240×240×130
	T51350	350							360×360				360×360×150
	T51470	470				360,480		1°，45′	480×480				480×480×160
	T51700	700	26H7			720		30′	720×720				720×720×170

3.1.3 万能分度头

万能分度头是铣床的重要附件，其外形结构见图 3-3。底座上装有回转体，回转体内装有主轴。万能分度头主轴可随回转体在垂直平面内板到水平、垂直或倾斜位置。分度时，拔出定位销，摇动分度手柄，通过万能分度头内的蜗杆、蜗轮带动主轴旋转进行分度。万能分度头的主要功能如下：

1）能把工件轴线装置成水平、垂直或倾斜位置进行铣削加工，见图 3-4。

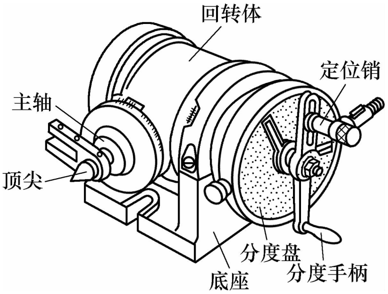


图 3-3 万能分度头的外形结构

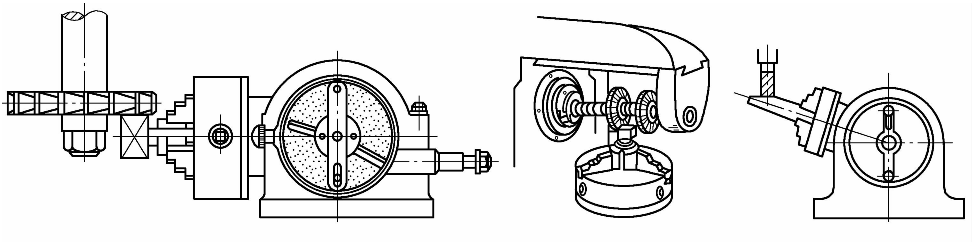


图 3-4 用万能分度头安装工件

a）水平位置安装 b）垂直位置安装 c）倾斜位置安装

2）使工件绕本身轴线进行分度，以便铣齿轮、立方体、花键等需要进行分度加工的工件。其调整及分度计算见第7章。

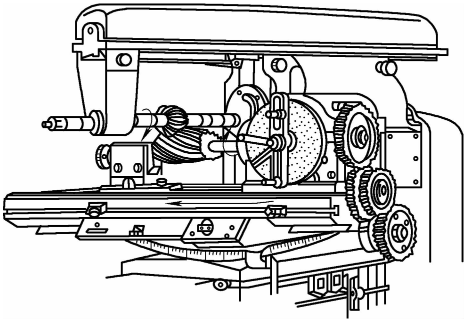


图3-5 铣削圆柱螺旋槽时的运动

3）可使工件随工作台进给时作连续旋转，铣削螺旋槽（见图3-5）和凸轮等工件。

常用万能分度头的规格见表3-4。

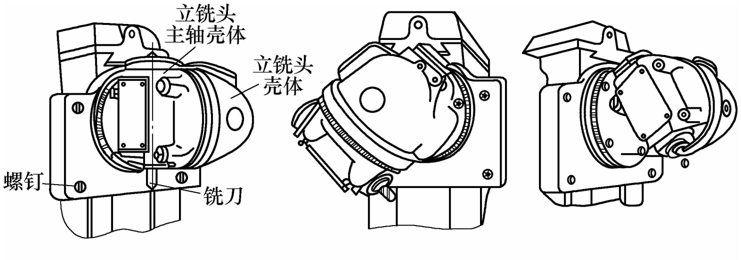
3.1.4 万能立铣头

图3-6所示为万能立铣头。在卧式铣床上装上万能立铣头，可扩大卧式铣床的加工范围。立铣头的主轴可安装铣刀，并可根据加工需要在空间扳转成任意角度，使铣刀能在任意角度下进行铣削加工。

常用万能立铣头的规格尺寸见表3-5。

表3-4 常用万能分度头的规格

名称	型号	技术规格												外形尺寸（长×宽×高）/mm
		中心高/mm	主轴锥孔锥度号（莫氏）	主轴锥孔大端直径/mm	主轴法兰盘定位短锥直径/mm	蜗杆副传动比	主轴水平位置升降角/（°）	定位键宽度/mm	配套卡盘型号	分度精度		重复精度		
										普通	精密	普通	精密	
万能分度头	F1180	80	3号	23.825	36.541	40	+90～−6	14	K11125	1′		±45″		334×334×147
	F11125A	125	4号	31.267	53.975			18						416×373×209
	F11160	160						18						477×477×260
	F11100A	100	3号	23.825	41.275	40	+95～−5	14	K11160	±1′				410×375×190
	F11125A	125	4号	31.267	53.975			18						470×330×225
	F11160A	160												470×330×260

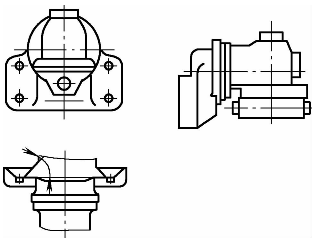


a) b) c)

图3-6 万能立铣头

a）铣刀处于垂直位置 b）绕主轴轴线偏转角度 c）绕立铣头壳体偏转角度

表3-5 常用万能立铣头的规格尺寸



（续）

名称	型 号	技术规格：与铣床主轴连接的锥柄锥度号	导轨宽度/mm	燕尾角度/(°)	铣头主轴孔莫氏锥度号	铣头与铣床的速比	回转角度/(°)	配套机床	外形尺寸（长×宽×高）/mm
万能立铣头	XC604	7:24，40 号	250	55	4（ϕ31.267mm）	1:1	—	X60、X60W	400×345×330
	XC614		280	50				X61、X61W	389×375×325
	XC61254		280	55				X6025、X6125	384×335×325
	XC624C		340	90				X62W	438×500×400
	XC624A	7:24，50 号	320	55				X62、X62W	503×450×394
	XC63T4		360	50				X63T、X63WT	513×490×384
	XC634A		400	55				X63、X63W	513×530×344

3.2 铣床专用夹具

3.2.1 夹具的作用

在机械加工中，铣床夹具的作用主要有以下几个方面：

（1）保证工件加工精度，稳定成批工件的加工质量 用专用夹具装夹工件，可以使工件正确地定位，即可以准确地确定工件与刀具、机床之间的相对位置；同时稳固地夹紧，可使同一批工件的装夹高度统一，从而保证了成批工件加工的精度稳定良好，对保证产品质量及其稳定性有着重要的作用。

（2）提高劳动生产率和经济效益 依靠夹具的专门定位元件和高效夹紧装置，可以快速而准确地完成工件在夹具中的定位和夹紧，免去十分费时又不很精确的划线、找正工序，使工件的安装迅速、方便，大大缩短了辅助时间。此外，若实现多件、多工位装夹，使装夹工件的辅助时间与机动时间重合；并采用多刀、多件加工，使切削效率显著提高，产生明显的经济效益。

（3）扩大铣床的工艺范围 采用专用夹具可以扩大通用机床的工艺范围，做到一机多用，例如在普通铣床上安装专用夹具来铣削成形表面等。

（4）能减轻操作人员的劳动强度 用夹具装夹工件方便、省力、安全，采用气动、液压等夹紧装置，可减轻操作人员的劳动强度。

（5）可降低对操作者的技术等级要求 专用夹具的应用使工件的装夹大为简化，使原来只能由技术熟练的技工才能完成的复杂工件的精确装夹工作可以由较低技术等级的工人来完成。

3.2.2 夹具的组成

夹具一般由以下几个部分组成：

（1）定位装置 定位装置由定位元件及其组合元件构成，用来保证工件在夹具中占有正确的位置。工件常用平面、孔及外圆表面定位，也有用组合表面或特殊（如齿形）表面定位的。常用的定位元件有支承钉（板）、定位销、V 形块等。

（2）夹紧装置 夹紧装置用来将工件压紧夹牢，保证工件在加工过程中不会在外力作用下偏离已占据的正确位置。

（3）对刀、引导装置 对刀、引导装置的作用是确定刀具相对于夹具的位置，或引导刀具进行加工。常用的对刀、引导元件有对刀块、钻套等。

（4）其他元件及装置 根据夹具功能需要而设置的某些元件或装置，如分度装置、靠模装置、连接件、操作件以及其他辅助元件。

（5）夹具体 夹具体是夹具的基础件，用来将夹具的所有元件连接成一个整体。

图 3-7 所示为连杆铣槽工序图，图 3-8 所示为铣图 3-7 中的连杆直角凹槽的专用夹具。工件以一面两孔在支承板 8、菱形销 7 和圆柱

销 9 上定位。拧紧螺母 6，通过活节螺栓 5 带动浮动杠杆 3，使两副压板 10 均匀地同时夹紧两个工件。夹具可同时装夹 6 个工件，为多件加工铣床夹具，生产率高。对刀块 2 是用来确定刀具与夹具相对位置的对刀元件。夹具体 1 的底面上设置了两个定位键 11，并用沉头螺钉固定在夹具体底面纵向槽的两端，通过定位键与铣床工作台上 T 形槽配合，从而确定了夹具在铣床上的正确位置。两定位键之间的距离越大，定向精度越高。

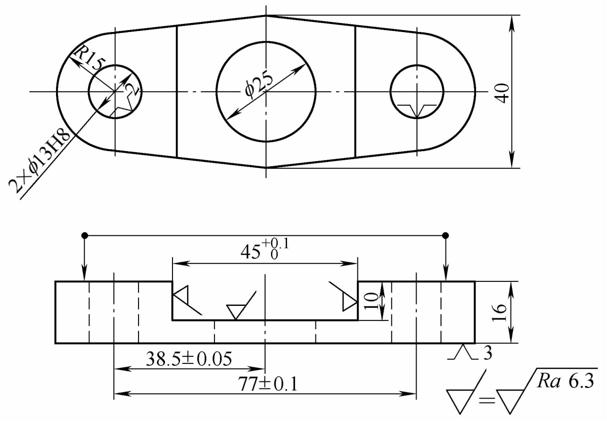


图 3-7 连杆铣槽工序图

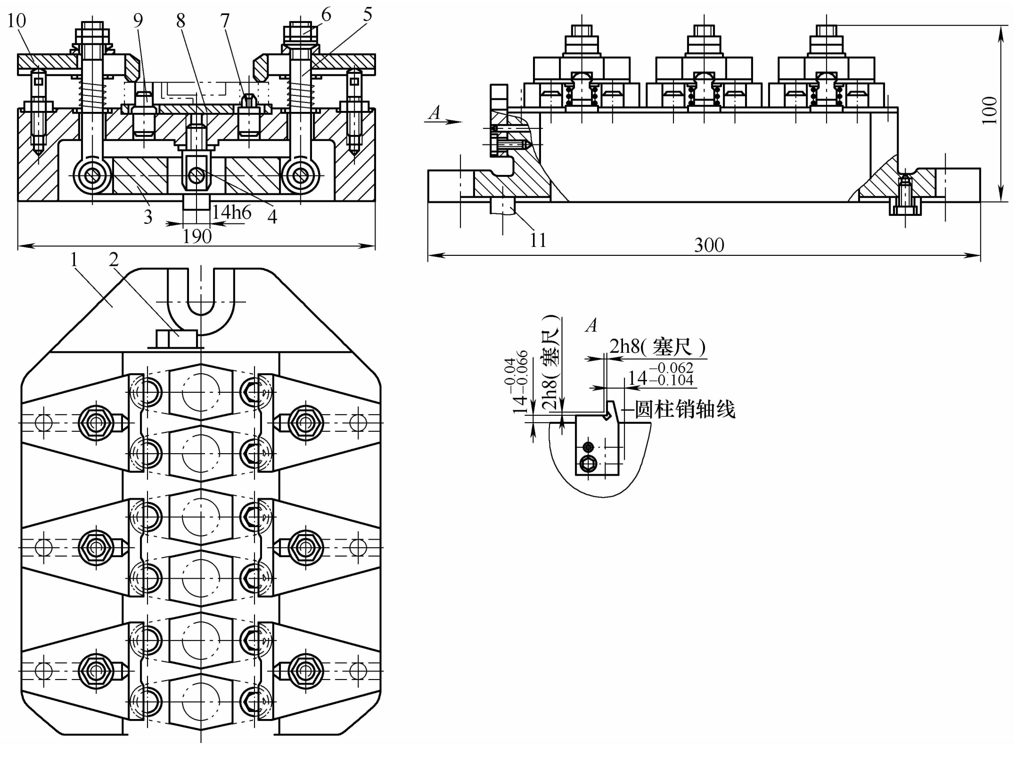


图 3-8 连杆直角凹槽的专用夹具

1—夹具体 2—对刀块 3—浮动杠杆 4—铰链螺钉 5—活节螺栓 6—螺母 7—菱形销 8—支承板 9—圆柱销 10—压板 11—定位键

定位键有矩形定位键和圆形定位键两种。常用的定位键为矩形定位键，其结构有 A 型（见图 3-9a）和 B 型（见图 3-9b）两种。A 型键与夹具体槽和工作台 T 形槽的配合尺寸均为 B，其极限偏差可选 h6 或 h8；夹具体上用于安装定位键的槽宽 B_2 与 B 的尺寸相同，极限偏差可选 H7 或 js6（见图 3-9c）。为了提高定向精度，可选用 B 型定位键，其与 T 形槽配合的尺寸 B_1 留有 0.5mm 磨量，以便与机床工作台 T 形槽的实际尺寸配作，极限偏差取 h6 或 h8。图 3-9d 所示的圆柱形定位键制造方便，但容易磨损，定位稳定性差，只用于某些小型夹具中。

定位键还可以承受铣削时产生的切削转矩，减轻夹具固定螺栓的负荷，增强夹具在加工过程中的稳固性。

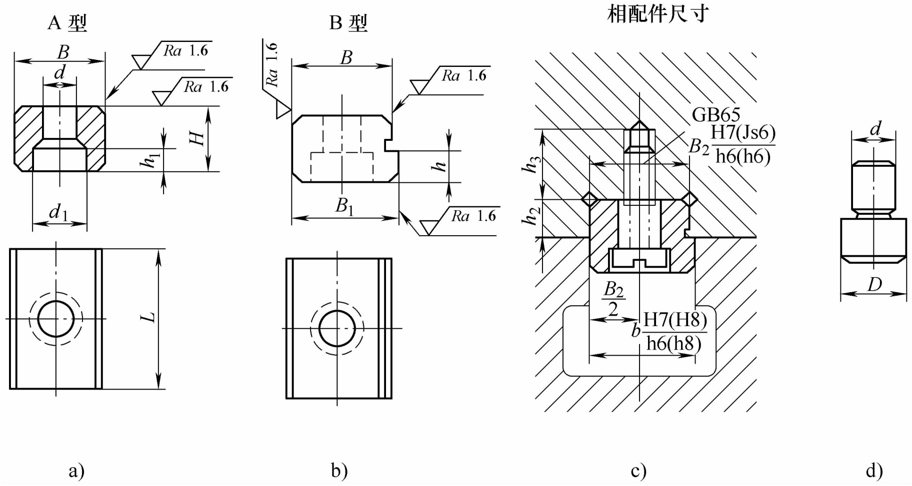


图 3-9　定位键

a）A 型键　b）B 型键　c）相配件尺寸　d）圆型键

定向精度要求高的铣床夹具，可不设置定位键，而在夹具体的侧面加工出一窄长平面（图 3-10 中 A 面），作为夹具安装时的找正基面，通过找正来获得较高的定向精度。

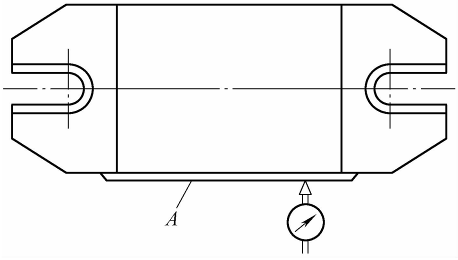


图 3-10　铣床夹具的找正基面

3.2.3　工件的定位

1. 工件的定位原理

工件定位的实质就是要使工件在夹具中占有某一确定的位置。未定位的工件在空间直角坐标系中有六个自由度（见图 3-11），即沿三个坐标轴方向移动的自由度 $\vec{X}$、$\vec{Y}$、$\vec{Z}$ 和绕三个坐标轴转动的自由度 $\widehat{X}$、$\widehat{Y}$、$\widehat{Z}$。

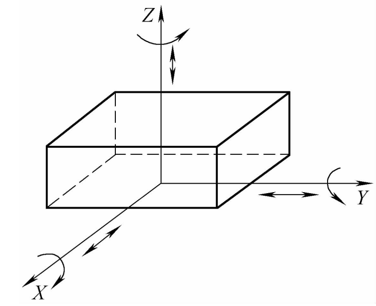


图 3-11　工件在空间的六个自由度

在夹具中，通常用一个支承点限制工件的一个自由度，用合理分布的六个支承点限制工件的六个自由度，使工件在夹具中的位置完全确定。这一定位方法被称为“六点定位规则”。图 3-12 所示为工件的六点定位规则。

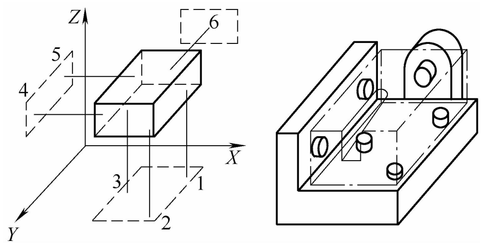


图 3-12 工件的六点定位规则

工件在夹具中定位，通常有以下四种情况：

（1）完全定位 工件的六个自由度全部被夹具的定位元件限制，使工件在夹具中只有唯一位置的定位方式称为完全定位。当工件在 X、Y、Z 三个方向上都有尺寸或位置精度要求时，常采用完全定位方式。

图 3-13 所示为在工件上铣槽。为了保证尺寸 Z，需要限制 $\overrightarrow{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$；为了尺寸 Y，还要限制 $\overrightarrow{Y}$、$\widehat{Z}$；为了保证尺寸 X，最后还需限制自由度 $\overrightarrow{X}$，以实现完全定位。

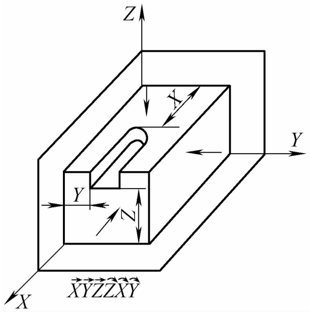


图 3-13 完全定位

（2）不完全定位 图 3-14 所示为在工件上铣通槽。为了保证加工尺寸 Z，需限制 $\overrightarrow{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$ 三个自由度；为保证加工尺寸 Y，还需限制 $\overrightarrow{Y}$、$\widehat{Z}$ 两个自由度，由于 X 轴向没有尺寸要求，$\overrightarrow{X}$ 自由度不需限制。这种根据加工要求，允许某些自由度不限制的定位称为不完全定位。满足加工要求的不完全定位是允许的。

（3）欠定位 当定位点少于工件应该限制的自由度，使工件不能正确定位的方式称为欠定位。欠定位在生产中是不能允许的。如图 3-15所示，在铣削轴上端的键槽时，如不在位于轴下端的键槽内设置防转定位销 A，则工件的 $\overrightarrow{X}$ 自由度未能得到限制，工件绕 X 轴回转方向的位置是不确定的，这样铣出的上端键槽无法保证与下端键槽的位置精度要求。

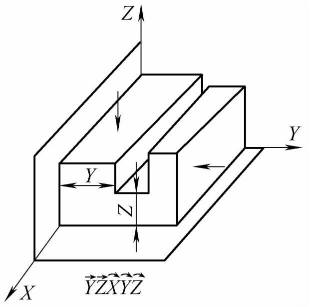


图 3-14 不完全定位

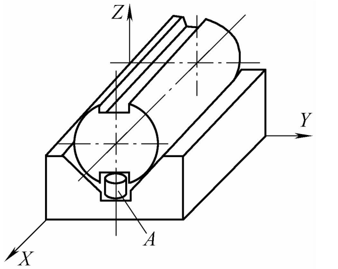


图 3-15 用防转定位销 A 消除欠定位

（4）过定位 夹具上的定位元件重复限制工件的一个或几个自由度，这种重复限制工件自由度的定位称为过定位。

图 3-16a 所示为加工连杆小头孔的正确定位方案。以平面 1 限制 $\overrightarrow{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$ 三个自由度，以短圆柱销 2 限制 $\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$ 两个自由度，以防转销 3 限制 $\widehat{Z}$ 自由度，属于完全定位。但是，如果用长销代替短销（见图 3-16b），由于长销限制了 $\widehat{X}$、$\widehat{Y}$、$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$ 四个自由度，其中限制 $\widehat{X}$、$\widehat{Y}$ 与平面 1 限制的自由度重复，因而会产生干涉现象。由于工件孔与端面、长销外圆与平面间均有垂直度误差，如果长销刚性很好，将造成工件与平面 1 为点接触而出现定位不稳定，或在夹紧力作用下使工件变形；如果长销刚性不足，则长销弯曲而使夹具损坏，以上两种情况都是不允许的。因此，在确定工件定位方案时，应尽量避免采用过定位。如果采用过定位方案，必须采取一定的技术措施，如提高定位基准之间以及定位元件工作表面之间的位置精度；或者改变定位元件结构，使定

位元件在重复限制自由度的部分不起定位作用，以达到工件在安装时不发生干涉，或在过定位存在的条件下，仍能保证工件加工精度的要求。

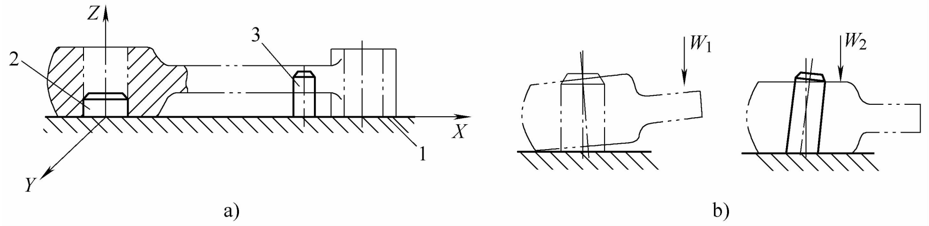


图 3-16　加工连杆小头孔的定位方案

a）正确方案　b）不正确方案

1—平面　2—短圆柱销　3—转销

图 3-17 所示的平面定位属于过定位。如果工件定位平面粗糙，支承钉或支承板又不能保证在同一平面上，则这种情况是不允许的；但如果工件定位平面加工后保证平整，支承钉或支承板在安装后又统一磨削过，则此种过定位是允许的。

图 3-18a 所示为平面和两短圆柱销定位方案。由图可见，平面限制了$\overrightarrow{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$三个自由度，而两个短圆柱销与两定位孔配合时，将使连心线方向的自由度$\overrightarrow{Y}$被重复限制，出现过定位。为了使同一工序中的所有工件都能顺利装卸，而将第二个定位销采用削边销或菱形销（见图 3-18b），即可以顺利解决。削边销有 A 型和 B 型（见图 3-19）。A 型又名菱形销，应用较广，其尺寸见表 3-6；B 型结构简单，制造方便，但刚性较差。

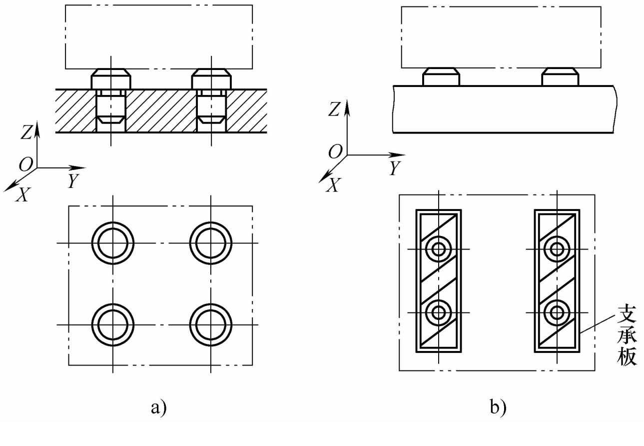


图 3-17　平面定位的过定位

a）用支承钉定位　b）用支承板定位

表 3-6　菱形销的尺寸　　（单位：mm）

d	>3～6	>6～8	>8～20	>20～24	>24～30	>30～40	>40～50
B	$d-0.5$	$d-1$	$d-2$	$d-3$	$d-4$	$d-5$	$d-6$
b_1	1	2	3	3	3	4	5
b	2	3	4	5	5	6	8

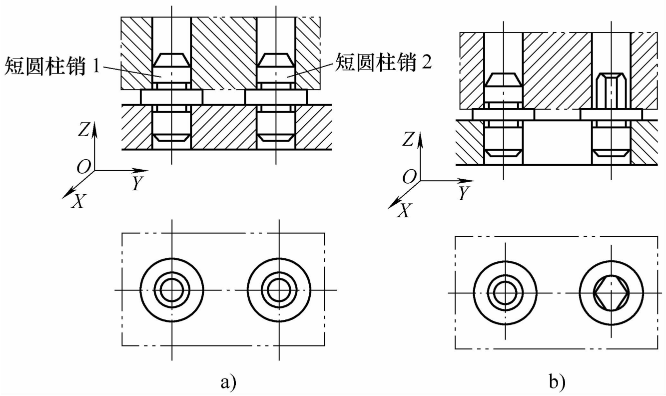


图 3-18 过定位及其改进方案

a）过定位 b）改进方案

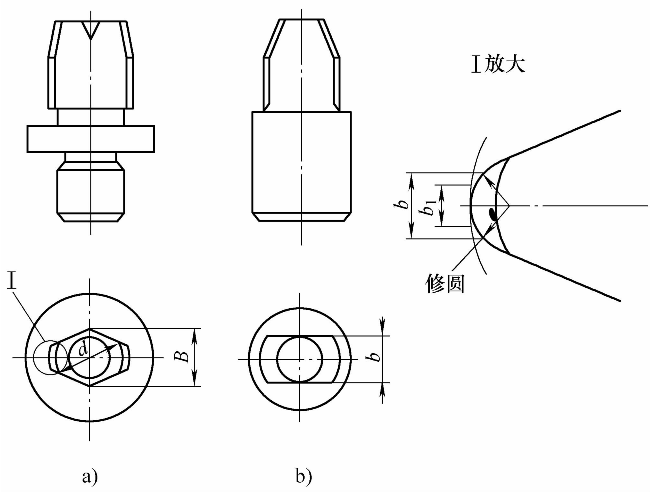
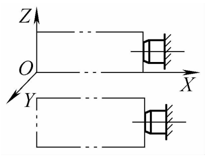
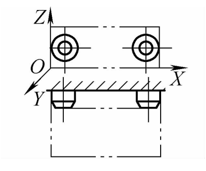
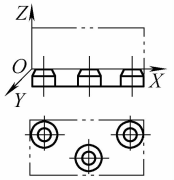


图 3-19 削边销的结构

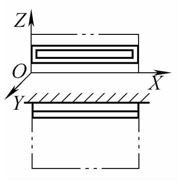
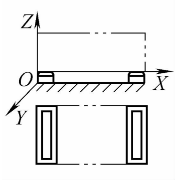
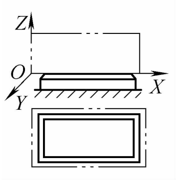
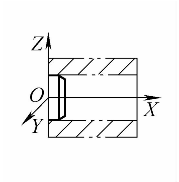
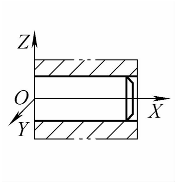
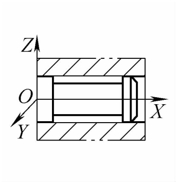
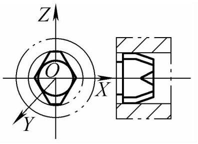
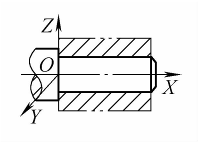
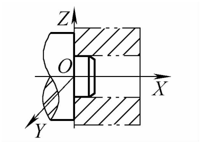
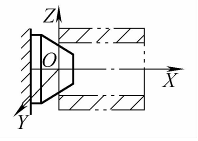
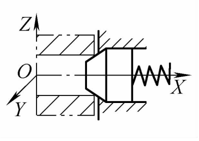
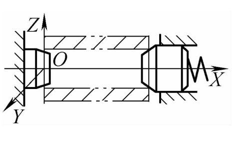
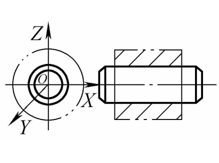
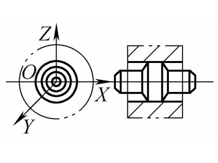
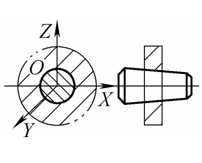
a）A 型 b）B 型

2. 常用定位元件所能限制的自由度 常用定位元件所能限制的自由度见表 3-7。

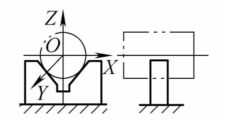
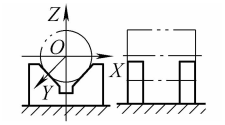
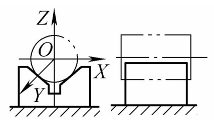
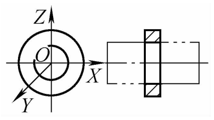
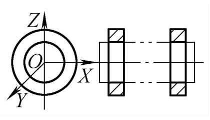
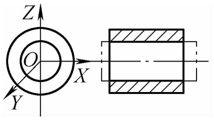
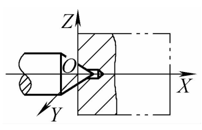
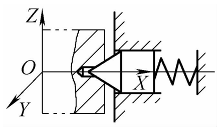
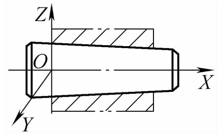
表 3-7 常用定位元件所能限制的自由度

工件的定位面	夹具的定位元件				
平面	支承钉	定位情况	一个支承钉	两个支承钉	三个支承钉
		图示			
		限制的自由度	$\vec{X}$	$\vec{Y}$、$\widehat{Z}$	$\vec{Z}$、$\widehat{X}$、$\widehat{Y}$

（续）

工件的定位面	夹具的定位元件				
平面	支承板	定位情况	一块条形支承板	两块条形支承板	一块矩形支承板
		图示			
		限制的自由度	$\overrightarrow{Y}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Y}$	$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Y}$
圆孔	圆柱销	定位情况	短圆柱销	长圆柱销	两段短圆柱销
		图示			
		限制的自由度	$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$	$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$、$\overset{\frown}{Z}$
		定位情况	菱形销	长销小平面组合	短销大平面组合
		图示			
		限制的自由度	$\overrightarrow{Z}$	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$、$\overset{\frown}{Z}$
	圆锥销	定位情况	固定圆锥销	浮动圆锥销	固定圆锥销与浮动圆锥销组合
		图示			
		限制的自由度	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$	$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$ $\overset{\frown}{Z}$
	心轴	定位情况	长圆柱心轴	短圆柱心轴	小锥度心轴
		图示			
		限制的自由度	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Z}$	$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Z}$

（续）

工件的定位面	夹具的定位元件				
外圆柱面	V形块	定位情况	一块短 V 形块	两块短 V 形块	一块长 V 形块
		图　示			
		限制的自由度	$\vec{X}$、$\vec{Z}$	$\vec{X}$、$\vec{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\vec{X}$、$\vec{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Z}$
	定位套	定位情况	一个短定位套	两个短定位套	一个长定位套
		图　示			
		限制的自由度	$\vec{X}$、$\vec{Z}$	$\vec{X}$、$\vec{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Z}$	$\vec{X}$、$\vec{Z}$、$\overset{\frown}{X}$、$\overset{\frown}{Z}$
圆锥孔	锥顶尖和锥度心轴	定位情况	固定顶尖	浮动顶尖	锥度心轴
		图　示			
		限制的自由度	$\vec{X}$、$\vec{Y}$、$\vec{Z}$	$\vec{Y}$、$\vec{Z}$	$\vec{X}$、$\vec{Y}$、$\vec{Z}$、$\overset{\frown}{Y}$

3.2.4 常用的定位元件

1. 工件以平面定位

工件以平面作为定位基准时，其定位元件分为基本支承和辅助支承。基本支承用来限制工件的自由度；而辅助支承不起限制工件自由度的作用，只是用来加强工件的支承刚性。

（1）基本支承　基本支承有固定、可调和自位三种形式，其应用特点如下：

1）固定支承。固定支承有支承钉和支承板两种类型。支承钉一般用于三点支承或侧面支承，其结构有 A 型（平头）、B 型（球头）和 C 型（齿纹）三种（见图 3-20）。A 型支承钉与工件的接触面大，适用于已加工平面的定

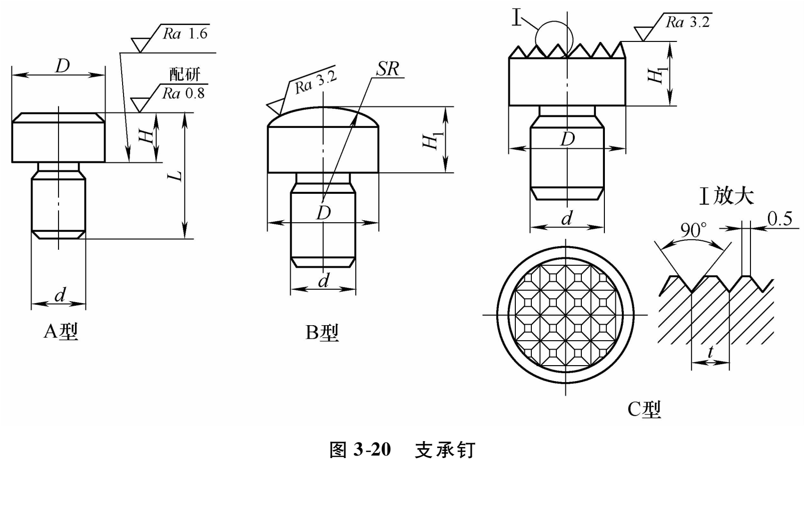


图 3-20　支承钉

位；B 型、C 型支承钉与工件的接触面小，适用于未加工平面的定位；而 C 型齿纹支承钉与工件定位面之间的摩擦力大，有利于定位的稳定性，但齿纹槽内易积屑，故适用于粗糙表面的侧面定位。

当支承面较大、并已经过加工的平面时，常采用支承板定位，可以增强工件支承的刚性和稳定性。支承板有 A 型（光面）和 B 型（带槽）两种（见图 3-21）。A 型支承板结构简单，但不易清除切屑，常用于侧面支承；而 B 型支承板开了斜凹槽，排屑方便，常作为水平面支承。

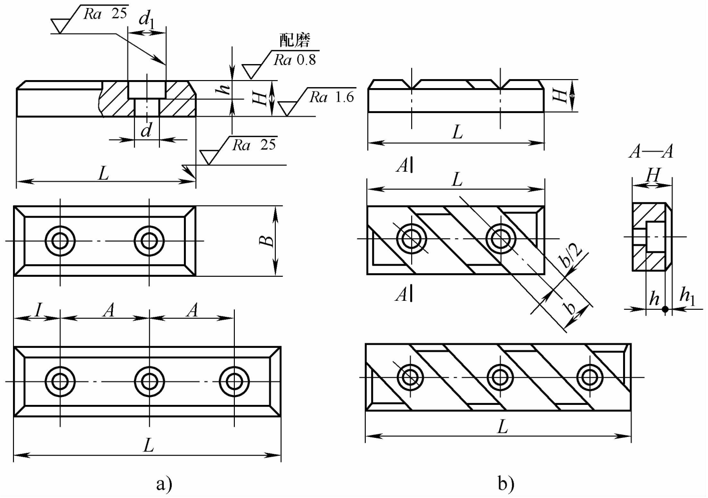


图 3-21 支承板

a）A 型 b）B 型

2）可调支承。图 3-22 所示为几种可调支承示例，其顶部有一个调整范围，调整合适后用螺母锁紧。当工件的定位面形状复杂，各批毛坯尺寸、形状有变化时，多采用这种支承；但对同一批毛坯，可调支承一般只调整一次。

3）自位支承（见图 3-23）。工件在定位过程中，能自动调整位置的支承称为自位支承或浮动支承。当工件的定位面不连续、或为台阶面或者定位面有角度误差时，采用自位支承，可以使支承点的位置随工件定位面位置的变化而自动调节，直至各支承点都能与工件良好接触。由于接触点数的增加，增强了工件的装夹刚性和稳定性，但仍相当于一个固定支承，只限制工件一个自由度。

（2）辅助支承 辅助支承用来提高工件的装夹刚性和稳定性，不限制工件的自由度。如图 3-24 所示，铣削工件上平面时，用下平面

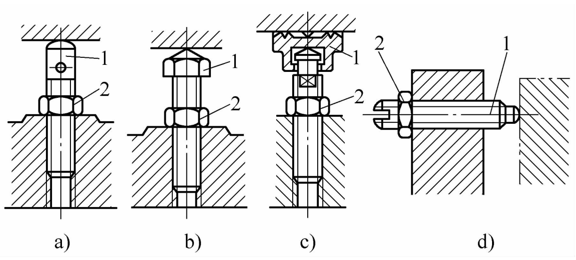


图 3-22 几种可调支承示例

a）球头可调支承 b）锥头可调支承 c）自位可调支承 d）侧向可调支承

1—支承钉 2—锁紧螺母

定位，定位元件为支承板 1、2。由于工件右端悬伸量较长，加工时易产生变形、振动而影响加工质量，必须设置支承 3。但如设置固定支承，则属于过定位，有可能破坏下平面的定位，所以支承 3 应采用辅助支承。常用的辅助支承有以下几种类型：

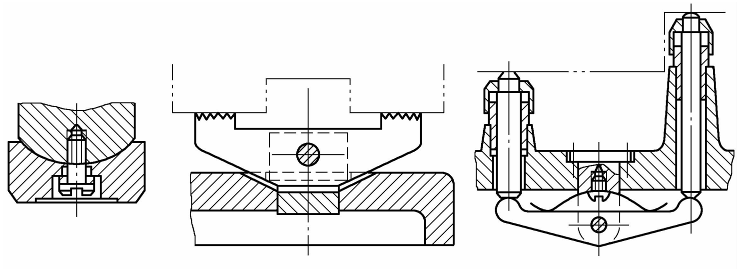


图 3-23 自位支承

a）球面浮动式 b）、c）联动式

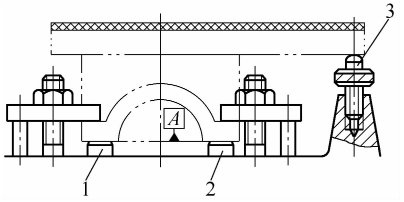


图 3-24 辅助支承的应用

1、2—支承板 3—辅助支承

1）螺旋式辅助支承（见图 3-25a）。螺旋式辅助支承的结构与可调支承相近，应分清它们的区别。从功能方面看，可调支承起定位作用，而辅助支承不起定位作用；从操作方面看，可调支承是先调整、定位，最后夹紧工件，而辅助支承则是先定位、夹紧工件，最后调整辅助支承。此外，在结构上，螺旋式辅助支承不用螺母锁紧。

2）自动调节式辅助支承（见图 3-25b）。弹簧 2 推动滑柱 1 与工件接触，转动手柄，通过顶柱 3 锁紧滑柱 1，使其能承受切削力等外力。弹簧力的大小应能推动滑柱，但不能顶起工件，不会破坏工件的定位。

3）推引式辅助支承（见图 3-25c）。工件定位后，推动手轮 4 使滑销 5 与工件接触，然后转动手轮，使斜楔 6 开槽部分胀开而锁紧。

2. 工件以圆柱内表面定位

工件以圆柱内表面定位时，常用的定位元件有以下几种：

（1）圆柱销（定位销） 图 3-26 为常用定位销的结构。当定位销直径 D 为 3 ~ 10mm 时（图 3-26a），为避免使用中折断或热处理时脆裂，常把根部倒成圆角 R，夹具体上应有

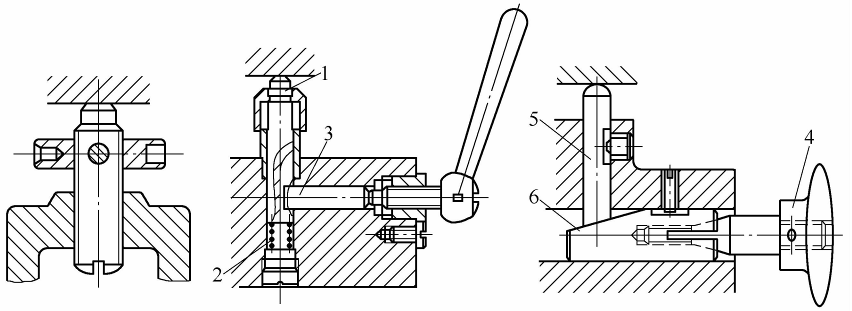


图 3-25 辅助支承

a）螺旋式辅助支承 b）自动调节式辅助支承 c）推引式辅助支承

1—滑柱 2—弹簧 3—顶柱 4—手轮 5—滑销 6—斜楔

沉孔，使定位销的圆角部分沉入孔内而不影响定位。大批量生产时，为了便于定位销的更换，可采用图3-26d所示的带衬套结构的定位销。

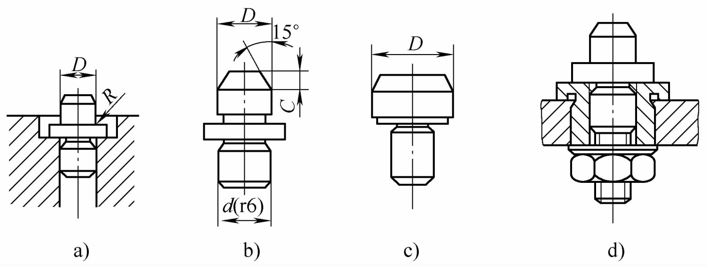


图3-26　常用定位销的结构

a）$D=3\sim10$　b）$D=10\sim18$　c）$D>18$　d）带衬套结构的定位销

（2）圆柱心轴　图3-27所示为常用圆柱心轴的结构。图3-27a所示为间隙配合心轴，心轴和工件孔一般采用H7/h6、H7/g6的间隙配合，因此装拆工件方便，但由于间隙较大，不能保证很高的同轴度精度。为了减少因配合间隙而造成的工件倾斜，工件常以孔和端面联合定位，因此要求工件定位孔与定位端面之间、心轴上限位端面与限位圆柱面之间都有较高的垂直度。图3-27b所示为过盈配合心轴，心轴由引导部分1、工作部分2和传动部分3组成。引导部分的作用是使心轴迅速而正确地套入心轴。这种心轴的定心精度高，不用另设夹紧装置，制造简单，但装卸工件不便，多用于定心精度要求高的精加工。图3-27c为花键心轴，用于加工以花键孔为定位面的工件。

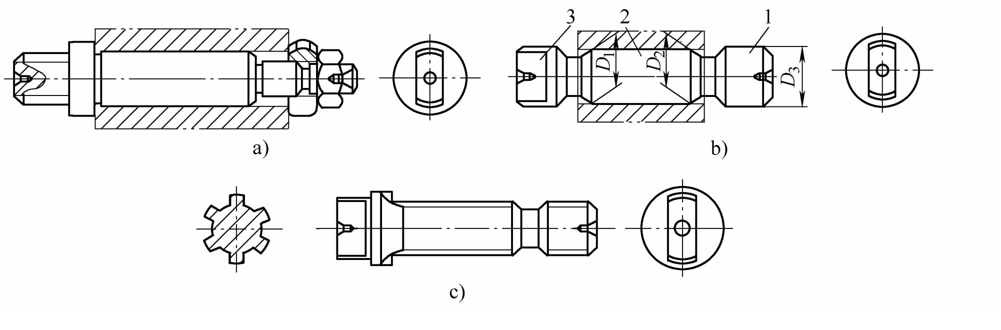


图3-27　常用圆柱心轴的结构

a）间隙配合心轴　b）过盈配合心轴　c）花键心轴

1—引导部分　2—工作部分　3—传动部分

（3）圆锥心轴　图3-28所示为工件在圆锥心轴上定位，依靠工件定位圆孔与心轴表面的弹性变形夹紧工件。这种定位方式的定心精度高，可达$\phi0.01\sim\phi0.02$mm，但传递的转矩较小，装卸工件不便且不能加工端面，工件的轴向位移误差也较大，适用于定位孔精度不低于IT7的精车和磨削加工。

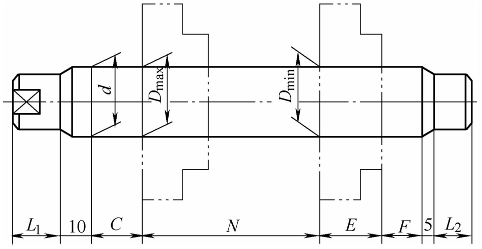


图3-28　圆锥心轴

（4）圆锥销　工件以圆孔在圆锥销上定位（见图3-29），它限制了工件$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$三个自由度。图3-29a所示的圆锥销用于粗定位面，图3-29b所示的圆锥销用于经过加工面的定位。工件在单个圆锥销上定位容易倾斜，因

此，圆锥销常与其他定位元件组合定位（见图3-30）。图3-30a为工件在双圆锥销上定位，左端固定锥销限制$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$、$\overrightarrow{Z}$三个自由度，右端为活动锥销，限制$\widehat{Y}$、$\widehat{Z}$两个自由度。图3-30b是以工件底平面为主要定位面，采用活动圆锥销，只限制$\overrightarrow{X}$、$\overrightarrow{Y}$两个自由度。图3-30c为圆锥、圆柱组合心轴，圆锥部分使工件准确定心，圆柱部分可减少工件倾斜。以上三种定位方式均可限制工件五个自由度。

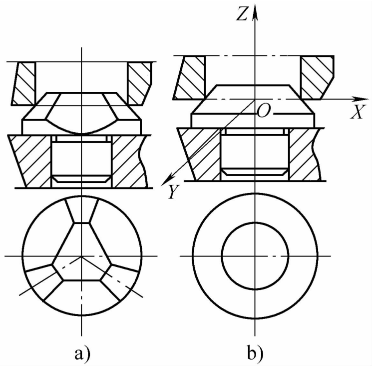


图3-29　圆锥销定位

a）用于粗定位面　b）用于经过加工面的定位

3. 工件以圆柱外表面定位

工件以圆柱外表面定位时，常用的定位元件有V形块、定位套和半圆套，分述如下：

（1）V形块　工件的定位面无论是否经过加工，是完整的圆柱面还是局部圆弧面，都可以采用V形块定位。V形块定位的优点是对中性好、安装方便。由图3-31可见，V形块两斜面的夹角α的半角相等，能使工件的定位基准轴线对中在V形块两斜面的对称平面上，且不受定位基准直径误差的影响。V形块两斜面间的夹角α有60°、90°、120°三种，以90°应用最广。

图3-31a所示的V形块适用于较短的精基准定位；图3-31b用于较长的粗基准（或阶梯轴）定位；图3-31c用于两段精基准相距较远的场合；图3-31d为铸铁底座镶淬火钢垫的V形块，用于定位基准直径与长度较大的场合。

V形块有固定式和活动式之分。固定V形块根据工件与V形块接触母线的长度，限制两个或四个自由度；而活动V形块在图3-32中所示加工连杆孔定位中，限制一个转动自由度，用以补偿因毛坯尺寸变化对定位的影响，同时兼有夹紧作用。

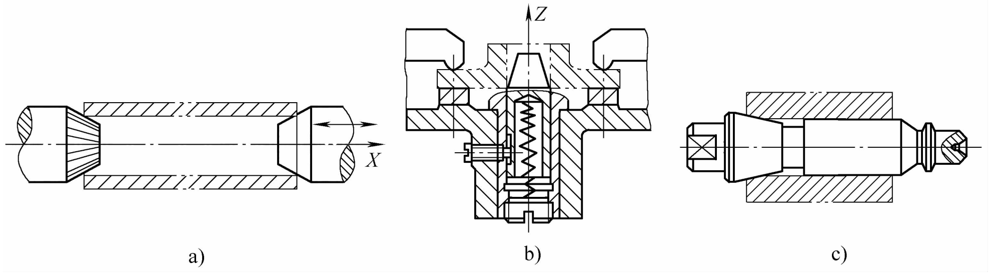


图3-30　圆锥销组合定位

a）工件在双圆锥销上定位　b）采用活动圆锥销定位　c）圆锥、圆柱组合心轴

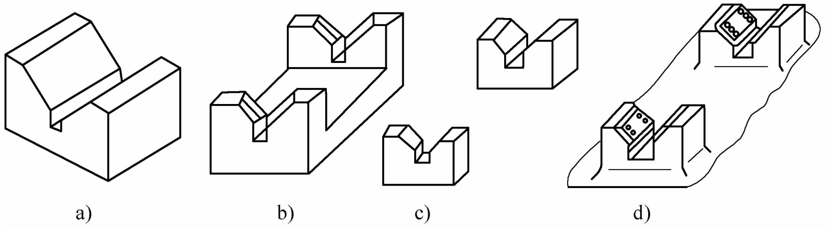


图3-31　V形块

a）形式一　b）形式二　c）形式三　d）形式四

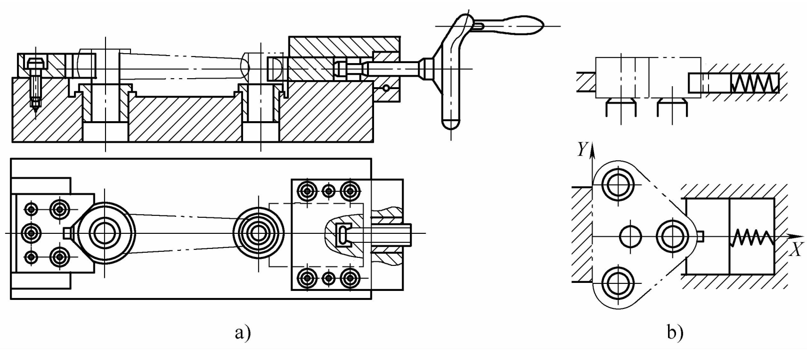


图 3-32 活动 V 形块在加工连杆孔定位中的应用

a）示意图 b）原理图

（2）定位套 图 3-33 所示为常用的定位套。定位套属于内孔轴线定位，为保证工件的轴向定位，常与端面组合定位。当工件的定位端面较大时，应采用短型定位套，以免造成过定位。一个短定位套限制两个移动自由度，一个长定位套则限制两个移动和两个转动自由度。定位套结构简单、制造容易，但定心精度不高，只适用于精定位基面。

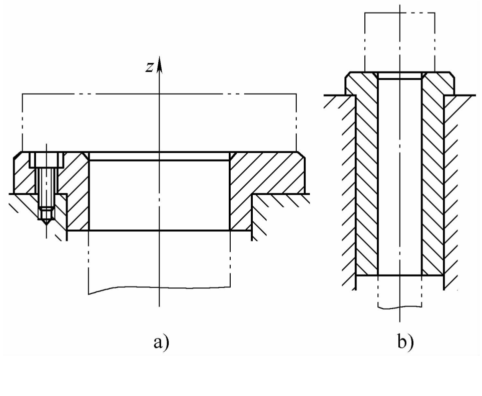


图 3-33 常用的定位套

a）短定位套 b）长定位套

（3）半圆套（见图 3-34） 半圆套定位就是将定位套分开为上、下两个部分，下半圆套用来定位；上半圆套固定在铰链盖板上，用以夹紧工件。这种定位方式主要用于大型轴类零件及不便于轴向安装的工件。半圆套的定位精度取决于工件定位面的精度，一般不应低于 IT8 或 IT9。半圆套的最小直径应取工件定位基面的最大直径。

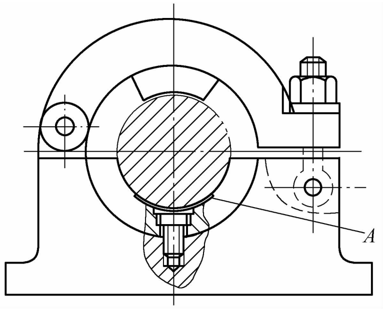


图 3-34 半圆套

4. 工件以特殊表面定位

（1）工件以燕尾导轨面定位 燕尾导轨面的夹角 β 有 55°和 60°两种，常用的燕尾导轨面定位装置见图 3-35。其中，图 3-35a 右边是固定的短圆柱和 V 形座，组成主要限位基准，限制四个自由度；左边是与燕尾导轨形状相应的移动钳口 K，只限制一个自由度，并兼有夹紧作用。而图 3-35b 所示的是另一种定位装置，相当于两个钳口为燕尾形的虎钳。工件以燕尾导轨面定位，夹具的左边为固定钳口，是主要限位基面，限制工件四个自由度；右边的活动钳口只限制一个自由度，并兼起夹紧作用。

（2）工件以 V 形导轨面定位 车床的拖板、床鞍等零件加工时，常以底部的 V 形导轨面定位。图 3-36b 所示的定位装置，左边一列是两个固定在夹具体上的 V 形座和短圆柱 1，起主要限位作用，限制工件四个自由度；右边一列是两个可移动的 V 形座和短圆柱 2，只限制工件 $\widehat{Y}$ 一个自由度。两列 V 形座（包括短圆柱）的等高度误差应不大于 0.005mm。

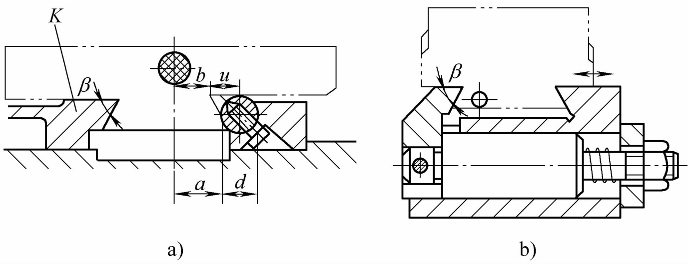


图 3-35 常用的燕尾导轨面定位装置

a）装置一 b）装置二

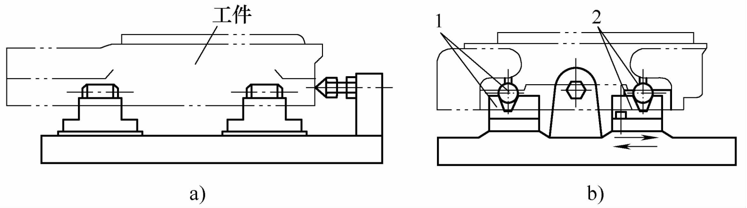


图 3-36 床鞍以 V 形导轨面定位

a）定位装置一 b）定位装置二

1、2—V 形座和短圆柱

3.2.5 工件的夹紧

1. 夹紧装置的组成及基本要求

（1）夹紧装置的组成 夹紧装置主要由以下几部分组成：

1）动力装置。夹紧力可以来源于人力，也可以来自某种动力装置。人力的夹紧称为手动夹紧，用各种动力装置产生的夹紧力夹紧工件称为机动夹紧。常用的动力装置有气动装置、液压装置、电动装置、电磁装置和真空装置等。

2）夹紧元件。执行夹紧的最终元件。它直接和工件接触，完成夹紧任务。

3）中间传递机构。它是在动力装置与夹紧元件之间传递夹紧力的机构。主要作用是：改变作用力的大小和方向，通常是增力机构；保证夹紧工件后的自锁性能，使夹紧可靠。通常，把夹紧元件和中间传递机构合称为夹紧机构。

图 3-37 所示为气动夹紧铣床夹具的组成。其中，气动装置由气缸 6、活塞 5、活塞杆 4 组成；连杆机构 3 和压板 2 等组成了连杆压板夹紧机构，压板 2 是夹紧元件。

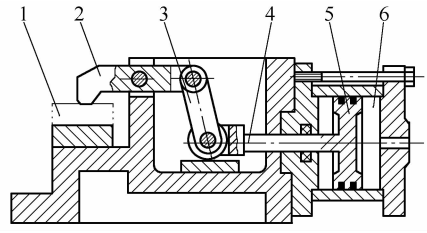


图 3-37 气动夹紧装置的组成

1—工件 2—压板 3—连杆机构

4—活塞杆 5—活塞 6—气缸

（2）对夹紧装置的基本要求

1）应能保证工件定位后的正确位置，不能破坏定位。

2）夹紧力的大小应适当、稳定，既能保证工件在加工中不会产生位移和振动，又使工件不会产生不允许的变形或损伤。

3）夹紧装置的结构力求简单，体积小、重量轻，并有足够的强度和刚性；工艺性好，便于制造和维修；其自动化程度应与工件的生产批量相适应。

4）安全、使用性能好，手动夹紧机构应有自锁性能，机动夹紧应有联锁保护装置，操作方便、省力、安全、可靠。

2. 夹紧力的确定

夹紧力的确定包括夹紧力的方向、作用点和大小三个要素。

(1) 夹紧力的方向

1) 夹紧力的方向不应破坏工件定位的准确性和可靠性，即夹紧力的方向应朝向主要定位基面。如图3-38a所示，工件被加工孔的轴线与左端面有垂直度要求，因而夹紧力 F_j 应朝向 A 面，使工件以左端面与定位元件 A 面接触，限制工件的3个自由度；底面与 B 面接触，限制2个自由度。如果夹紧力 F_j 朝向 B 面，由于工件左端面与底面存在的垂直度误差($\alpha \neq 90°$)，夹紧后必定影响孔的轴线与左端面的垂直度要求。在图3-38b中，夹紧力 F_j 朝向V形块的V形面，使工件的装夹稳定可靠。

2) 夹紧力的方向应便于装夹和有利于减小夹紧力。由图3-39所示的切削力、工件重力和夹紧力之间的关系可见，图3-39a所需的夹紧力最小，而图3-39f所需的夹紧力最大。如图3-40所示的夹紧力与切削力的方向，其中，图3-40a的夹紧力 F_{j1} 与切削力方向一致，是合理的；而图3-40b中的夹紧力 F_{j2} 与切削力方向相反，则是不尽合理的。

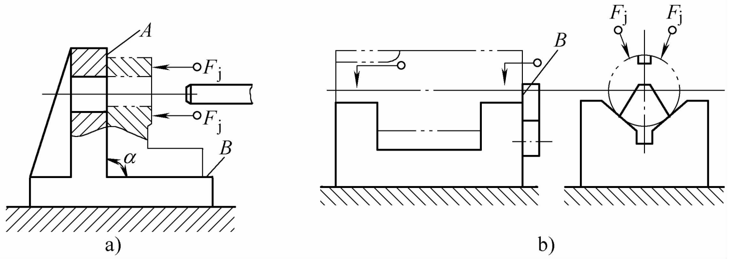


图3-38 夹紧力朝向主要限位面

a) 示意图一 b) 示意图二

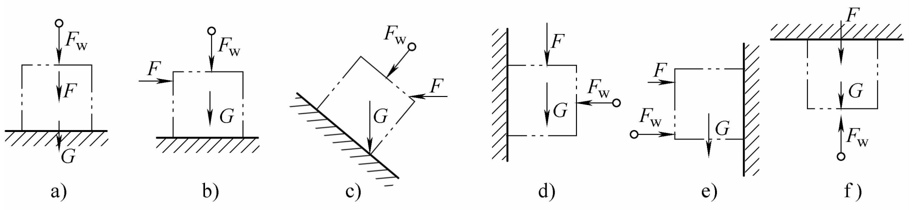


图3-39 夹紧力方向与夹紧力大小的关系

a) 示意图一 b) 示意图二 c) 示意图三 d) 示意图四 e) 示意图五 f) 示意图六

F_w—夹紧力 F—切削力 G—工件重力

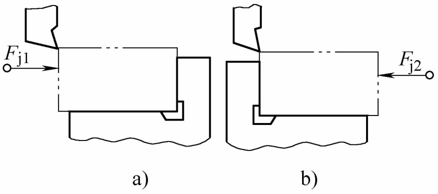


图3-40 夹紧力与切削力的方向

a) 合理 b) 不合理

(2) 夹紧力的作用点

1) 夹紧力的作用点应能保持工件定位稳定，不会引起工件产生位移或偏转。因此，夹紧力的作用点应落在定位元件上(见图3-41a、b)，或几个支承元件所形成的支承面内。如果夹紧力作用在支承面范围之外(见图3-41c、d)，夹紧时夹紧力与支座反力构成力矩，会使工件发生偏转。

2) 夹紧力的作用点应位于工件刚性较好的部位，以减小工件的夹紧变形，这对于刚性较差的工件尤为重要。如图3-42a所示，薄壁套的径向刚性比轴向刚性差，用卡爪径向夹紧，工件变形大；如沿轴向施以夹紧力(见图3-42b)，则工件的变形会大大减小，有利于减

少工件孔加工后的形状误差。又如图 3-43a 所示的薄壁箱体，夹紧力不应作用于箱体的顶面，而应作用在刚性好的凸边上。如箱体上没有凸边时（见图 3-43b），可将单点夹紧改为三点夹紧，使受力点落在刚性好的箱壁上，来减小工件夹紧变形。此外，增大工件受力面积、分散夹紧力的着力点（见图 3-44），都可减小工件的夹紧变形。

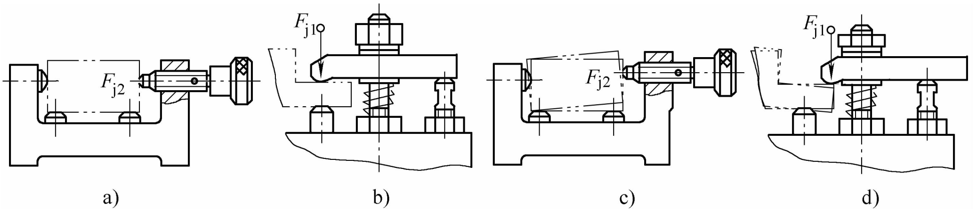


图 3-41 夹紧力作用点的位置

a)、b) 合理 c)、d) 不合理

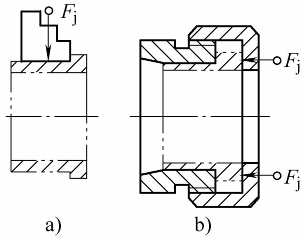


图 3-42 薄壁套筒的夹紧

a) 径向夹紧 b) 轴向夹紧

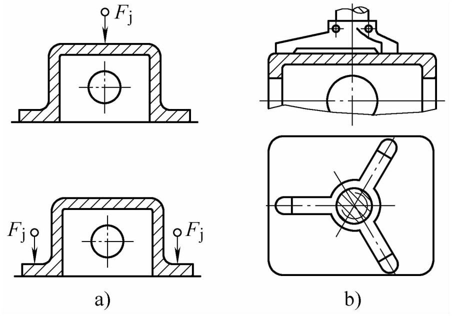


图 3-43 夹紧力作用点与夹紧变形的关系

a) 薄壁箱体 b) 箱体上没有凸边

3) 夹紧力的作用点应尽量靠近工件的加工表面，以提高工件定位的稳定性和夹紧的可靠性，减少加工时的振动，必要时可增加辅助支承。图 3-45 所示的在拨叉上铣槽，由于主要夹紧力作用点距工件加工表面较远，故需在靠近加工表面处设置辅助支承，施加夹紧力 F_{j2}。图 3-46 所示的用组合盘铣刀铣削工件两平面时，在靠近工件切削部位增设了辅助支承 a 和辅助夹紧力 F_{j2}。

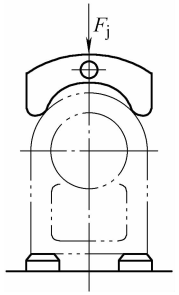


图 3-44 分散着力点

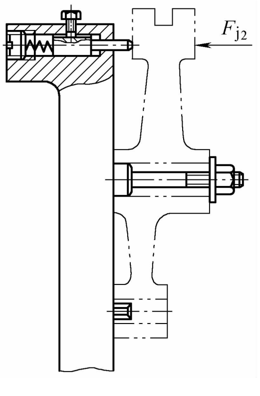


图 3-45 在拨叉上铣槽

(3) 夹紧力的大小 夹紧力的大小必须适当，若过小，则工件在加工过程中会发生移动而破坏定位；若过大，则会使工件和夹具变形而影响加工质量。

确定夹紧力大小的方法有估算法、类比法和试验法。当采用估算法确定夹紧力的大小时，根据工件所受切削力、夹紧力、惯性力、重力等的情况，找出加工过程中对夹紧最不利

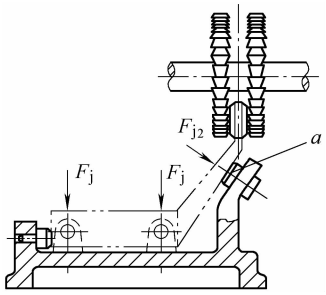


图 3-46 用组合盘铣刀铣削工件两平面

的状态，并按静力平衡原理计算出理论夹紧力，再乘以安全系数 K，作为实际所需的夹紧力，即

$$F_{jk} = KF_j$$

式中 F_{jk}——实际所需夹紧力（N）；

F_j——理论夹紧力（N）；

K——安全系数。

安全系数与加工性质（粗、精加工）、切削特点（连续、断续切削）、刀具状况夹紧力来源（手动、机动）有关。一般取 $K=1.5\sim3$，粗加工取 $K=2.5\sim3$，精加工取 $K=1.5\sim2.5$。

3.2.6 常用的典型夹紧机构

常用的典型夹紧机构有斜楔夹紧机构，螺旋夹紧机构，偏心夹紧机构，铰链夹紧机构，定心、对中夹紧机构，联动夹紧机构等。

1. 斜楔夹紧机构

斜楔夹紧机构是利用楔块上的斜面直接或通过杠杆将工件夹紧。斜楔是最基本的增力和锁紧元件。图 3-47a 是将斜楔与滑柱组合而成的夹紧机构，一般用气动或液压驱动；图 3-47b是由端面斜楔与压板组合而成的夹紧机构，由手动夹紧。斜楔夹紧机构的结构简单、操作方便，但夹紧行程短，传力系数小，自锁能力差。

2. 螺旋夹紧机构

螺旋夹紧机构是指用螺旋副与其他元件（压板、垫圈等）相结合，对工件进行夹紧的机构。螺旋夹紧机构结构简单、夹紧行程大、增力比大、自锁性能好，是手动夹紧中用得最多的一种夹紧机构。常用的螺旋夹紧机构有以下几种。

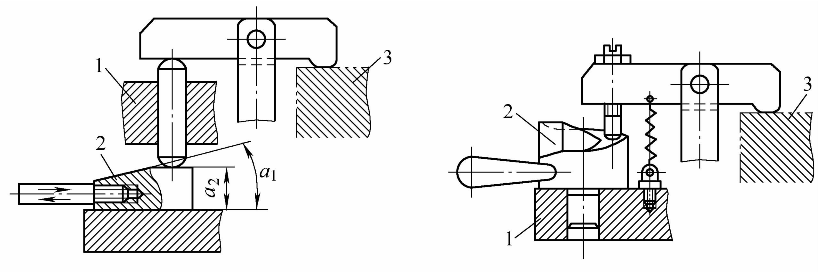


图 3-47 斜楔夹紧机构

a）将斜楔与滑柱组合而成的夹紧机构 b）由端面斜楔与压板组合而成的夹紧机构

1—夹具体 2—斜楔 3—工件

（1）单个螺旋夹紧机构 直接用螺钉或螺母夹紧工件的机构称为单个螺旋夹紧机构。图 3-48 所示的螺旋夹紧机构由螺钉、螺母、垫圈、压板等元件组成。其中，图 3-48a 中螺钉头直接与工件表面接触，当螺钉转动时，可能会带动工件旋转或损伤工件表面。为克服这一缺点，可在螺钉头部装上摆动压块（见图 3-49）。摆动压块有三种类型（见图 3-50），图 3-50a 为端面光滑的光面压块，用于夹紧已加工表面；图 3-50b 为端面有齿纹的槽面压块，用于夹紧毛坯面；当要求螺钉只移动不转动时，可采用图 3-50c 所示的圆形压块。

单个螺旋夹紧机构的缺点是夹紧动作慢，工件装卸费时。为了克服这一缺点，生产中常采用图 3-51 所示的快速螺旋夹紧机构。

图 3-51a 所示为带有开口垫圈的螺母夹紧机构，螺母外径小于工件孔径。稍松螺母，取下开口垫圈，即可将工件穿过螺母顺利取出。

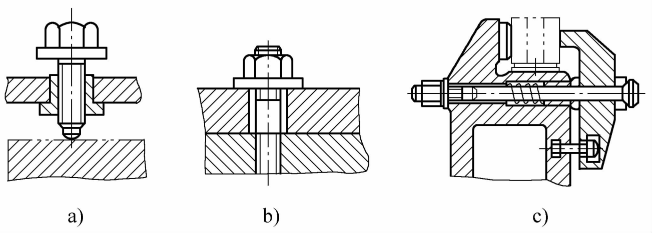


图 3-48 螺旋夹紧机构

a）机构一 b）机构二 c）机构三

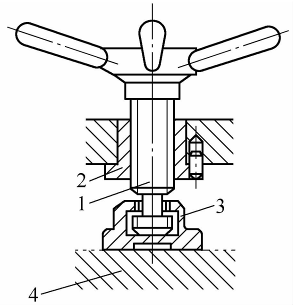


图 3-49 带摆动压块的单个螺旋夹紧

1—螺杆 2—螺母套 3—摆动压块 4—工件

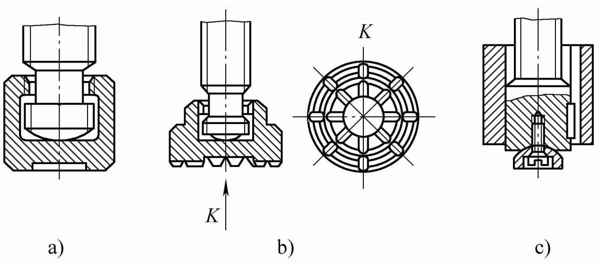


图 3-50 摆动压块

a）端面光滑的光面压块 b）端面有齿纹的槽面压块 c）圆形压块

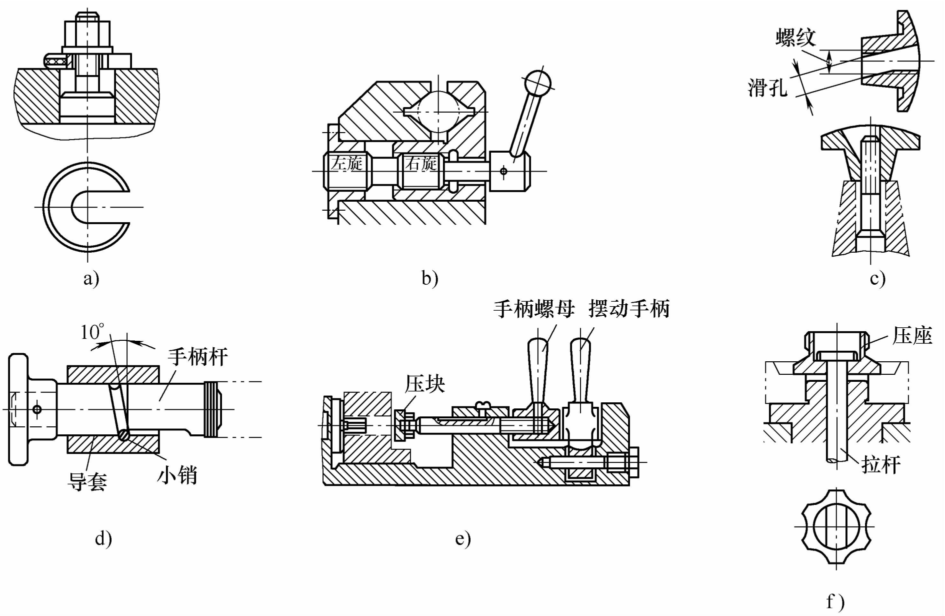


图 3-51 快速螺旋夹紧机构

a）机构一 b）机构二 c）机构三 d）机构四 e）机构五 f）机构六

图3-51b所示的手柄螺杆为左、右螺纹。转动螺杆，可使左、右两钳口同时趋近或离开，实现工件的快速装卸。图3-51c所示的螺母螺孔内，又斜钻出孔径略大于螺纹外径的滑孔。螺母可斜向沿滑孔套入螺杆，然后将螺母摆正，使螺母的螺纹与螺杆啮合，再稍微拧动螺母，即可将工件夹紧。图3-51d所示的手柄杆上铣有螺旋槽和平面，导套内镶有小销。当平面与小销对正时，手柄杆可轴向移动接近工件；螺旋槽与小销对正后，旋转手柄杆，通过斜面的作用将工件夹紧。图3-51e所示为快速夹紧机构。在装上工件后，推动手柄螺母，使螺杆连同压块快速接近工件，然后旋转摆动手柄，使垫块进入图示的工作位置，只要再略微转动手柄螺母，便可将工件夹紧；松开工件的操作顺序相反。垫块旁有挡销限位，用以确定手柄2的工作位置。图3-51f所示的拉杆与气缸连接，压座的中间开有略大于拉杆端部的长槽。拉杆向上时，旋转压座使中间长槽与拉杆端面对正，取下压座，工件即可通过端面取出。

（2）螺旋压板夹紧机构　图3-52所示为常用的螺旋压板夹紧机构。其中，图3-52a、b所示为移动压板，图3-52c、d所示为回转压板。图3-53所示为螺旋钩形压板，其特点是结构紧凑、使用方便。

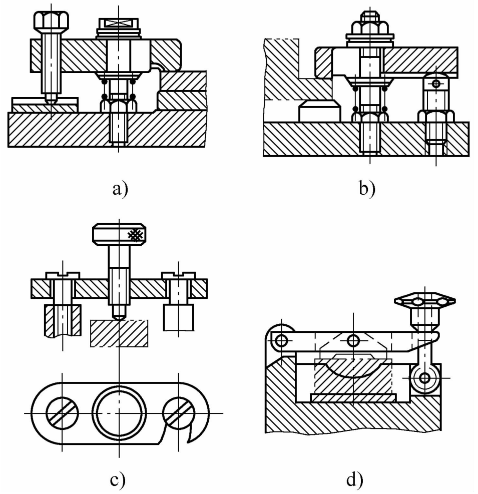


图3-52　常用的螺旋压板夹紧机构

a)、b) 移动压板　c)、d) 回转压板

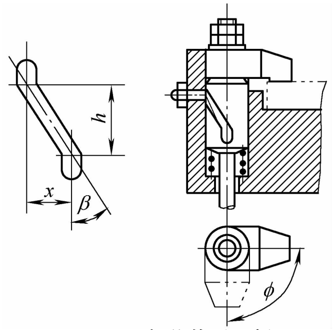


图3-53　螺旋钩形压板

3. 偏心夹紧机构

偏心夹紧机构是依靠偏心轮回转时的半径逐渐增大而产生夹紧力来夹紧工件的。用偏心件直接或间接夹紧工件的机构称为偏心夹紧机构。常用的偏心件是偏心轮和偏心轴。图3-54所示为常用的偏心夹紧机构。其中，图3-54a、b所示为偏心轮夹紧机构，图3-54c所示为偏心轴夹紧机构，图3-54d所示为偏心叉夹紧机构。

偏心夹紧机构操作方便、夹紧迅速，但夹紧力和行程较小，一般用于切削力不大、振动小、夹压面公差小的场合。

4. 铰链夹紧机构

图3-55所示为常用的铰链夹紧机构。其中，图3-55a所示为单臂铰链夹紧机构，图3-55b所示为双臂单作用铰链夹紧机构，图3-55c所示为双臂双作用铰链夹紧机构。

铰链夹紧机构是一种增力机构，其结构简单、动作迅速、增力比大、摩擦损失小，但一般不具备自锁性能，常与具有自锁性能的机构组成复合夹紧机构。适用于多点、多件夹紧，并广泛应用于气动、液压夹具中。铰链夹紧机构常由气缸（或液压缸）带动铰链臂及压板转动夹紧或松开工件。

5. 定心、对中夹紧机构

定心、对中夹紧机构是一种特殊的夹紧机构，其定位和夹紧是同时实现的，夹具上与工件定位面相接触的元件既是定位元件，又是夹紧元件。图3-56所示的螺旋定心夹紧机构是令定位、夹紧元件按等速位移原理来均分工件定位面的尺寸误差，以实现定心和对中。此外，定位、夹紧元件按均匀弹性变形原理也能实现定心夹紧，如弹簧心轴、液性塑料夹头等（见图3-57）。

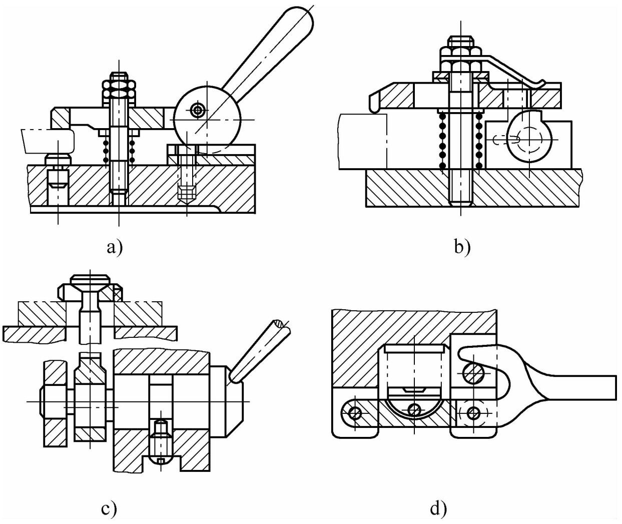


图 3-54 常用的偏心夹紧机构

a）、b）偏心轮夹紧机构 c）偏心轴夹紧机构 d）偏心叉夹紧机构

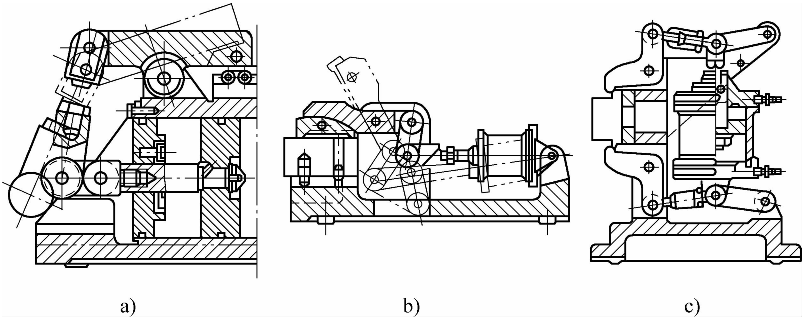


图 3-55 常用的铰链夹紧机构

a）单臂铰链夹紧机构 b）双臂单作用铰链夹紧机构 c）双臂双作用铰链夹紧机构

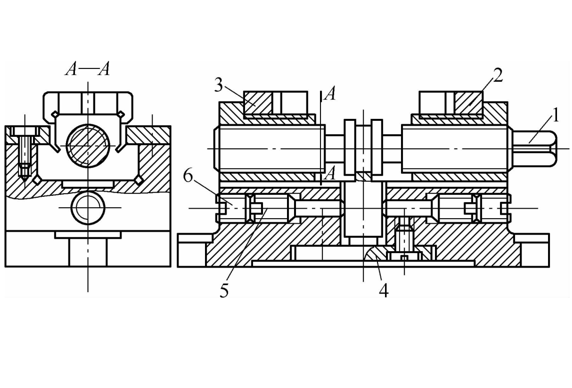


图 3-56 螺旋定心夹紧机构

1—夹紧螺杆 2、3—钳口 4—钳口定心叉

5—钳口对中调节螺钉 6—锁紧螺钉

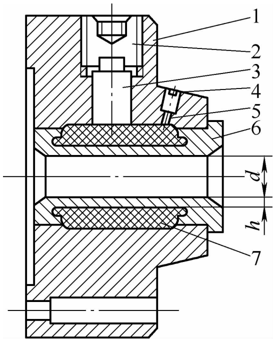


图 3-57 液性塑料夹头

1—弹簧心轴 2—加压螺钉 3—柱塞

4—紧固螺钉 5—堵塞 6—薄壁套筒

7—液性塑料

6. 联动夹紧机构

当工件需要多点同时夹紧或同时夹紧多个工件时，为了操作方便和提高生产率，常采用联动夹紧机构。

在多点夹紧机构中，需设有浮动机构或浮动元件。在工件夹紧过程中，当有一个夹紧点接触，浮动元件就能摆动（或移动），使两个或多个夹紧点都能接触，直至最后均衡夹紧。图3-58所示为四点双向浮动夹紧机构，夹紧力分别作用在两个相互垂直的方向上，每个方向各有两个夹紧点，通过浮动元件夹紧工件。调节杠杆 L_1、L_2 长度，可以改变两个方向夹紧力的比例。

图3-59所示为对向式多件夹紧机构。它通过浮动夹紧机构产生两个大小相等、方向相反的夹紧力，并同时将工件夹紧。

图3-60所示为液性塑料多件夹紧铣夹具，用于棒状零件的多件铣削。工作时，工件的外圆和一端面以定位块1和2定位。旋紧铰链螺钉上的螺母3，铰链压板4中的液性塑性受压，使8个柱塞5均匀地压紧工件；同时通过联动的压块6施压，将8个工件相贴并压紧在侧面的定位块7上。

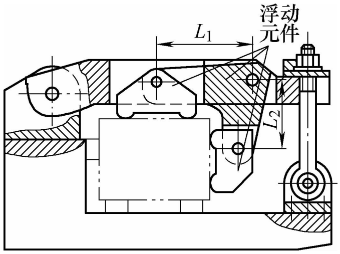


图3-58 四点双向浮动夹紧机构

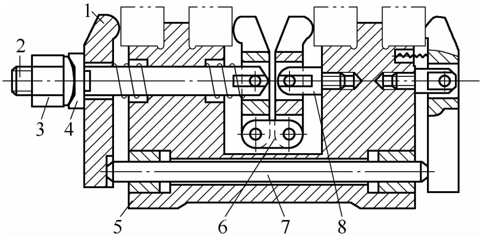


图3-59 对向式多件夹紧机构

1—压板 2—拉杆 3—螺母 4—球面垫圈 5—夹具体 6—连杆 7—顶杆 8—支座

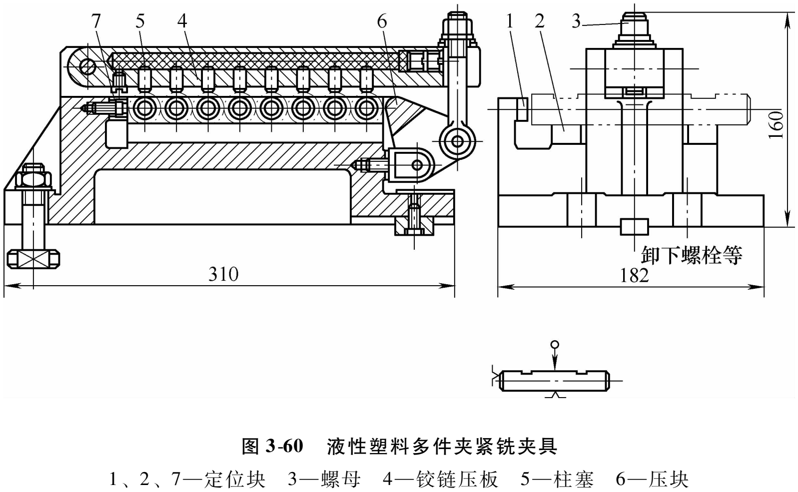


图3-60 液性塑料多件夹紧铣夹具

1、2、7—定位块 3—螺母 4—铰链压板 5—柱塞 6—压块

3.2.7 常用的对刀装置

铣床夹具在机床上定位后，为了保证工件被加工表面与铣刀有正确的相对位置，即需要利用对刀装置来确定刀具与夹具的相对位置。对刀装置包括对刀块和塞尺。

图3-61所示为常用的对刀装置。图3-61a所示为高度对刀装置，用于确定铣刀的高度，3是标准圆形对刀块；图3-61b中3是直角对刀块，用于对准铣刀高度和水平方向的位置；图3-61c、d所示为成形刀具对刀装置；图3-61e所示为组合铣刀对刀装置，3是方形对刀块，用于组合铣刀垂直和水平方向的对刀。

对刀时，移动机床工作台，使铣刀靠近对

刀块。为避免损坏铣刀切削刃或造成对刀块过早磨损，铣刀不能和对刀块工作表面直接接触，而应通过塞尺来校准它们之间的相对位置，即在切削刃与对刀块之间塞进一规定尺寸的塞尺，让切削刃轻轻靠紧塞尺，抽动塞尺，感觉到有一定的摩擦力存在。依靠这种松紧的感觉来确定铣刀的最终位置，抽出塞尺，就可以开动机床进行加工。

图 3-62 所示为常用的对刀塞尺。图 3-62a 所示为平面塞尺，厚度常用 1mm、2mm 和 3mm；图 3-62b 所示为圆柱塞尺，多用于成形铣刀对刀，直径常用 3mm、5mm。两种塞尺的公差均为 h8。

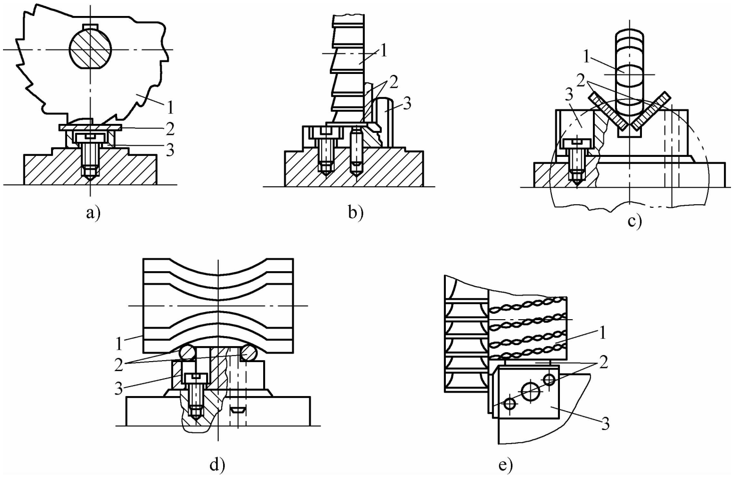


图 3-61 常用的对刀装置

a）高度对刀装置 b）高度和水平方向对刀装置 c）、d）成形刀具对刀装置

e）组合铣刀对刀装置

1—刀具 2—塞尺 3—对刀块

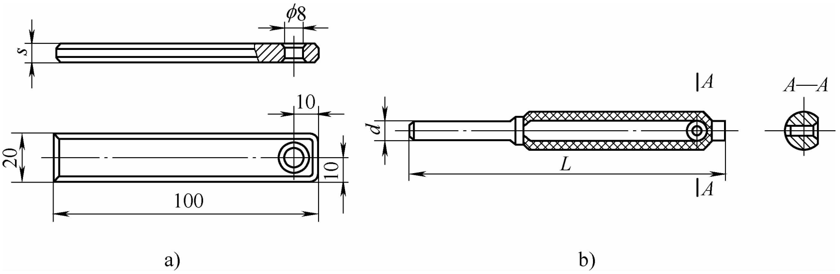


图 3-62 常用的对刀塞尺

a）平面塞尺 b）圆柱塞尺

3.2.8 常用的铣床夹具

铣床夹具主要用于加工零件的平面、沟槽、缺口、花键以及成形表面等。按铣削时进给方式的不同，常用的铣床夹具可分为直线进给式铣床夹具、圆周进给式铣床夹具和靠模进给式铣床夹具三种类型。以下分别介绍三类典型的铣床夹具。

1. 直线进给式铣床夹具

（1）轴端铣方头夹具 由图 3-63 可见，夹具采用平行对向式多位联动夹紧机构。旋转夹紧螺母 6，通过球面垫圈、压板 7 将工件压紧在 V 形块上。用 4 把三面刃铣刀同时铣削工件的两个侧面，铣削后取下楔块 5，将回转座 4 转动 90°，再用楔块 5 将定位座定位、锁紧，即可铣削工件的另外两个侧面。

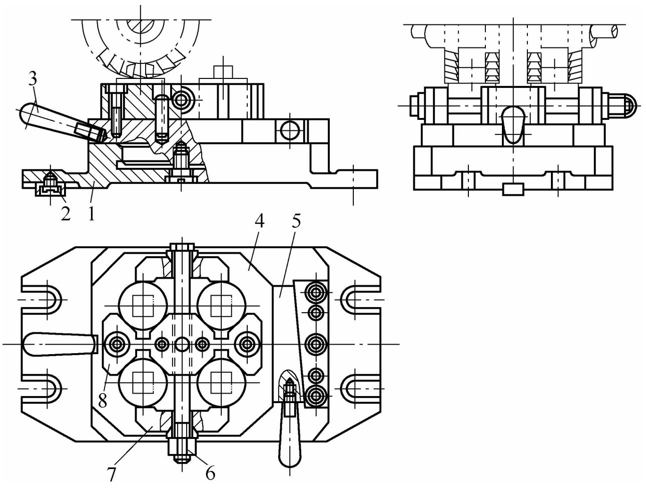


图 3-63 轴端铣方头夹具

1—夹具体 2—定向键 3—手柄 4—回转座 5—楔块
6—夹紧螺母 7—压板 8—V 形块

(2) 轴端铣通槽夹具 由图 3-64 可见，6 个工件以外圆面在活动 V 形块 2 上定位，一端面在支承钉 6 上定位。活动 V 形块装在两根导向柱 7 上，V 形块之间用弹簧 3 隔离。薄膜式气缸 5 推动 V 形块依次将工件夹紧。对刀块 9 和定位键 8 分别保证刀具与夹具及铣床的相对位置。

(3) 多工位直线进给式夹具 由图 3-65 可见，在铣床工作台上装有两个相同的夹具 1 和 3，每个夹具都可以装夹 5 个工件。铣刀 2 安装在两个夹具的中间。当工作台向右直线进给时，铣刀将铣削夹具 1 中的工件，此时操作者便可在夹具 3 中装卸工件；当夹具 1 中的工件加工完后，工作台快速退至中间位置，然后向左直线进给，铣削夹具 3 中工件，操作者则可装卸夹具 1 中的工件。这种夹具使辅助时间与机动时间重合，提高了生产率。

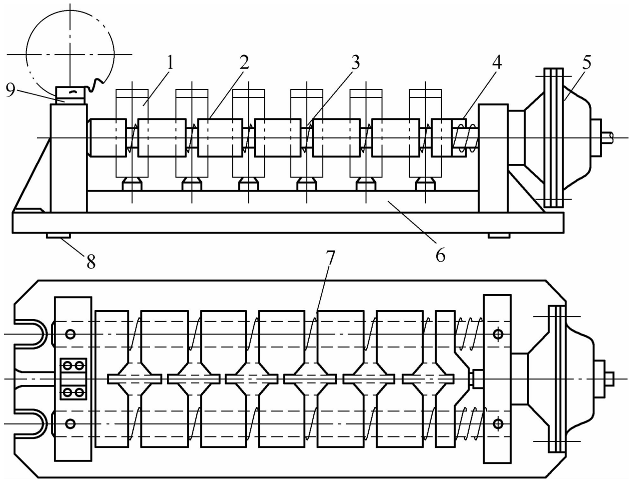


图 3-64 轴端铣通槽夹具

1—小轴 2—活动 V 形块 3—弹簧 4—夹紧元件 5—薄膜式气缸
6—支承钉 7—导向柱 8—定位键 9—对刀块

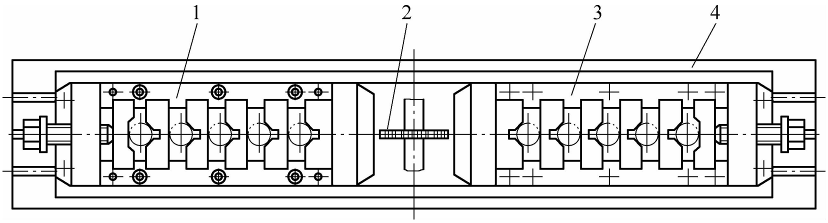


图 3-65 多工位直线进给式夹具

1、3—夹具 2—铣刀 4—铣床工作台

（4）带装料框的铣床夹具 由图 3-66 可见，夹具由两部分组成。图 3-66a 所示为固定在铣床工作台上的夹具体和夹紧装置，而作为夹具定位元件的是可装卸的装料框（见图 3-66b）。工件（见图 3-66c）用已加工好的两个轴孔（ϕ22H9、ϕ10H9）及大孔端面定位，装在装料框 5 的圆柱销 11 和菱形销 10 上。安装时，将装料框上的圆柱销 14 对准夹具体上的安装孔 6，菱形销 10、15 分别对准并放入夹具体上的定位槽口 8 和 9 中。拧紧螺母 1，经钩形压板 2 使压块 3 上的安装孔 4 套住料框上的圆柱销 12，将工件全部夹紧。夹具用于铣削杠杆的侧面及切槽，并配有 2 个或以上装料框，可使切削和装卸工件时间部分重合。

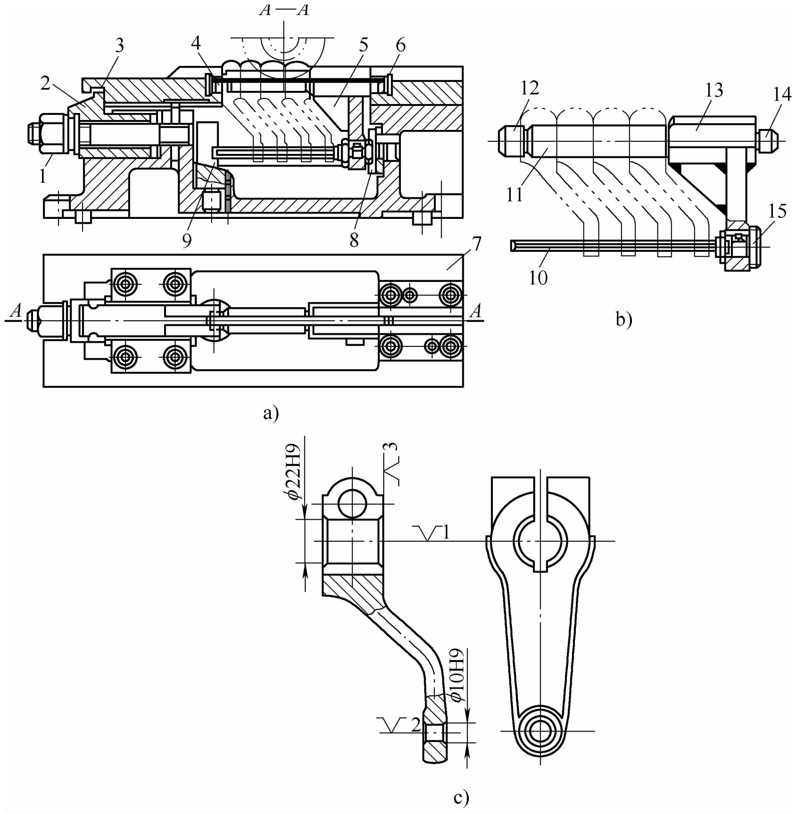


图 3-66 带装料框的铣床夹具

a）夹具体及夹紧装置 b）装料框（定位元件） c）工件简图及定位面

1—螺母 2—钩形压板 3—压块 4、6—安装孔 5—装料框 7—夹具体 8、9—定位槽口

10、15—菱形销 11、12、14—圆柱销 13—支架

（5）铣杠杆斜面夹具 图3-67所示为杠杆铣削斜面工序图，工件形状不规则、刚性差。工件以已精加工过的孔 ϕ22H7 和端面在夹具（见图3-68）的定位销9定位，限制了工件的5个自由度；以圆弧面在可调支承6上定位，限制工件的1个自由度，从而实现了完全定位。拧紧螺母11（参见 *A-A* 剖面图），钩形压板10将工件夹紧。为了增加工件刚性，在接近加工表面处采用了浮动的辅助夹紧机构。当拧紧该机构的螺母12时，卡爪2和卡爪3对向移动，同时将工件夹紧。在卡爪3的末端开有三条轴向槽，形成三片簧瓣。继续拧紧螺母，锥套5迫使簧瓣张开，使其锁紧在夹具体中，从而增强夹具刚度，防止铣削时产生振动。

夹具通过两个定位键8与铣床工作台T形槽对定，采用两把角度铣刀同时进行加工。由于夹具上的对刀块7与定位销9的台阶面有一定的尺寸联系［（18±0.1）mm］，而定位销的轴线又与定位键的侧面垂直，故通过塞尺对刀，即可使夹具相对于铣床和刀具获得正确的加工位置，从而能保证加工的要求。

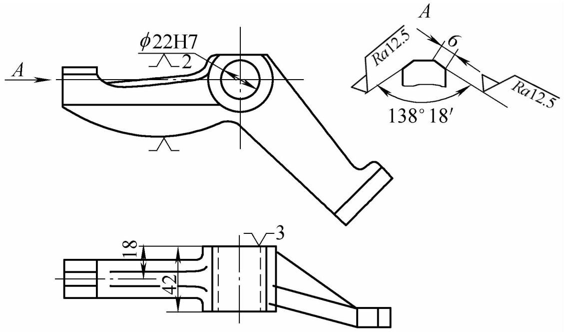


图3-67 杠杆铣削斜面工序图

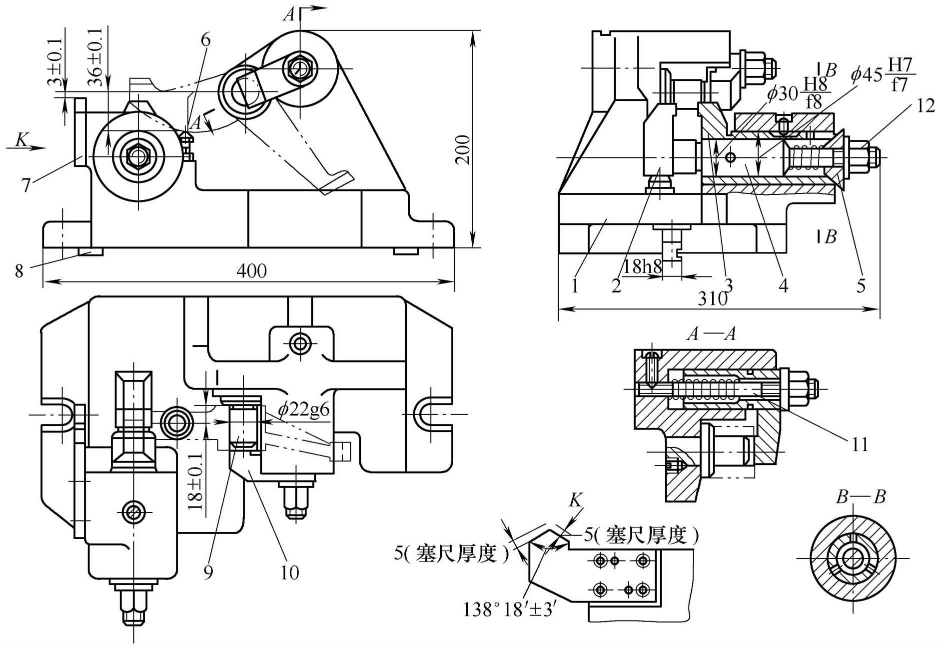


图3-68 铣杠杆斜面夹具

1—夹具体 2、3—卡爪 4—连接杆 5—锥套 6—可调支承 7—对刀块
8—定位键 9—定位销 10—钩形压板 11、12—螺母

（6）铣削水泵叶轮上十字槽的立轴分度夹具　由图 3-69 可见，工件以底面及外圆（$\phi85\pm0.05$）为定位基准，在夹具的定位盘 4 圆孔中及端面上定位，限制了 5 个自由度。工件安装时，应使其叶片与压板 5 头部的缺口对中，以便使铣出的十字槽互成 90°。拧紧铰链螺栓 6 上的螺母，通过杠杆 7 联动，使两块压板 5 同时夹紧工件。

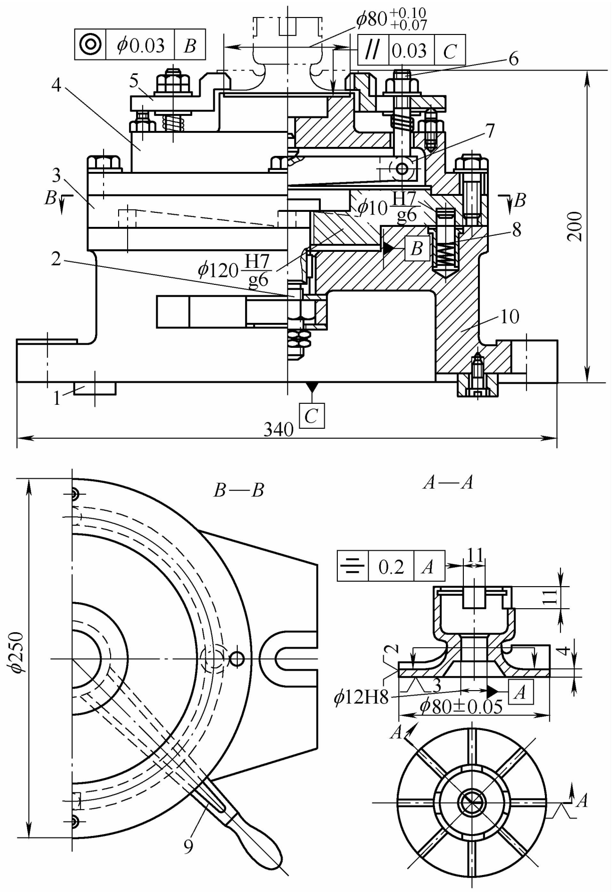


图 3-69　铣削水泵叶轮上十字槽的立轴分度夹具

1—定向键　2—中心轴　3—分度盘　4—定位盘　5—压板　6—铰链螺栓　7—杠杆　8—对定销　9—扳手　10—夹具体

当铣完一条槽后，顺时针转动扳手 9，使分度盘 3 与夹具体 10 之间松开。分度盘下端沿圆周方向分布有 4 条长度为 1/4 周长的斜槽，然后逆时针转动分度盘，在斜槽面的推压下，使对定销 8 逐渐退入夹具体的衬套孔中。当分度盘转过 90° 时，对定销依靠弹簧力弹出，落入第二条斜槽中，再反靠分度盘使对定销与槽壁贴紧，用扳手 9 把分度盘拉紧在夹具体上，即可加工另一条槽。

2. 圆周进给式铣床夹具

（1）圆周进给铣削拨叉端面夹具　图 3-70 所示为在带回转工作台的立式铣床上，圆周进给连续铣削拨叉上、下两端面的夹具。工件以圆孔、端面及外侧面在定位销 2 和挡销 4 上定位，由液压缸 6 驱动拉杆 1，通过快换垫圈 3 将工件夹紧。工作台由电动机通过蜗轮蜗杆传动回转，其 $\overset{\frown}{AB}$ 为工件的切削区域，$\overset{\frown}{CD}$ 是工件装卸区域，使辅助时间与基本时间重合，生产率高，适于大批量生产中、小工件。

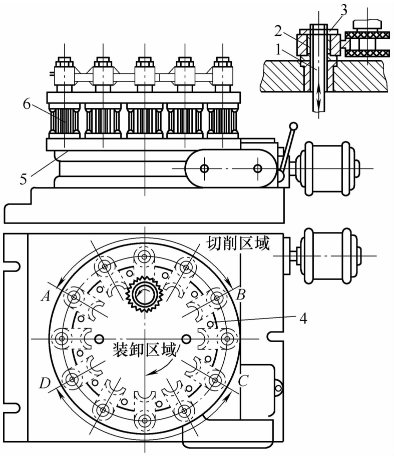


图 3-70 圆周进给铣削拨叉端面夹具

1—拉杆 2—定位销 3—快换垫圈
4—挡销 5—转台 6—液压缸

（2）铣起动机小连杆大头外圆夹具 由图3-71可见，工件以大头孔、端面及小头外形与端面定位，其定位元件为心轴1、支承板3和支承钉5。拧动开口垫圈上的螺母2，以实现手动夹紧；转动手柄4，可从小头侧面实现辅助夹紧。铣削的圆周进给运动是由蜗杆6驱动蜗轮7使转盘带动工件回转来完成的。

（3）铣车床四方刀架定位槽夹具 由图3-72可见，工件以底平面、中心孔和侧面可调节斜楔定位。用螺母将工件压紧在具有四条圆周平面凸轮法兰的心轴2上，心轴上的凸轮与固定在夹具体上的凸轮法兰3相贴合，凸轮的行程和工件的升程相同。当心轴由手柄经蜗杆、蜗轮传动时，由于凸轮的作用，使心轴在旋转的同时作上下运动，从而完成弧形凸轮槽的加工。

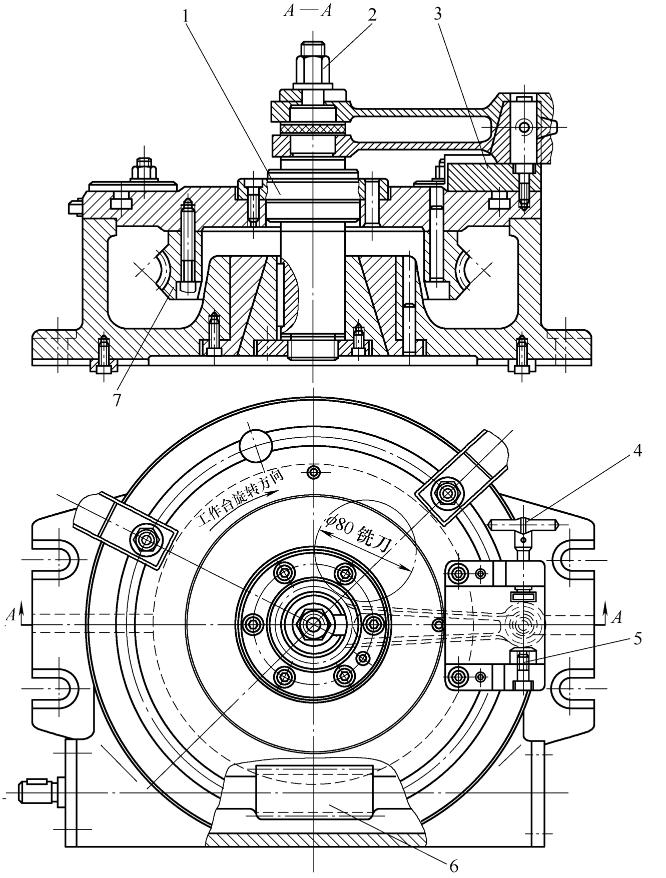


图 3-71 铣起动机小连杆大头外圆夹具

1—心轴 2—螺母 3—支承板 4—手柄 5—支承钉 6—蜗杆 7—蜗轮

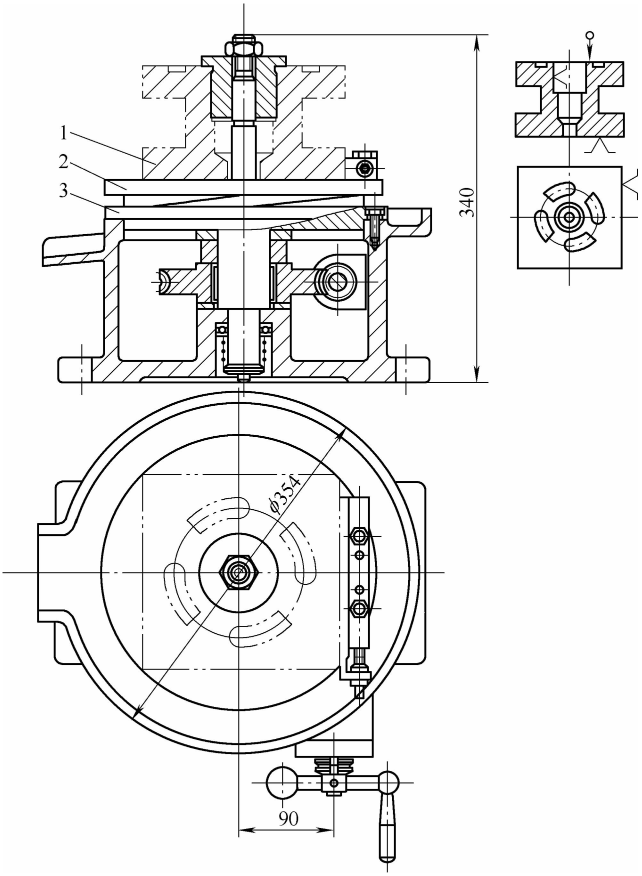


图 3-72 铣车床四方刀架定位槽夹具

1—工件 2—心轴 3—凸轮法兰

3. 靠模进给式铣床夹具

靠模进给式铣床夹具是一种带有靠模的铣床夹具，用于在铣床上加工各种非圆曲面。按照进给方式的不同，靠模进给式铣床夹具分为圆周进给式靠模铣床夹具和直线进给式靠模铣床夹具两种。

（1）圆周进给式靠模铣床夹具 图 3-73 所示为圆周进给式靠模铣床夹具示意图。夹具装在回转工作台 3 上，工作台装在滑座 4 上。滑座 4 受重锤或弹簧拉力 F 的作用使靠模 2 与滚子 5 保持紧密接触。滚子 5 与铣刀 6 不同轴，两轴距离为 k。当转台带动工件回转时，滑座也带动工件沿导轨相对于刀具作径向辅助运动，从而加工出与靠模外形相仿的成形面。

图 3-74 所示为圆周进给靠模铣床夹具实例。工件 4 与靠模 5 同轴安装在转盘 6 上，它连同蜗轮箱 7 可以在底座 9 的燕尾导轨上滑动。滚轮安装在支板 3 上，支架 2 与支板 3 连成一体，并固定在底座 9 上。在弹簧 1 的作用下，保证靠模与滚子可靠地接触，加工时驱动手轮 10，通过蜗轮蜗杆使转盘 6 转动，转盘 6 同时又随靠模作用而左、右移动，从而可铣出与靠模形状相对应的工件轮廓。

（2）直线进给式靠模铣床夹具 图 3-75 所示为直线进给式靠模铣床夹具示意图。靠模 3 与工件 1 分别装在夹具上，夹具安装在铣床工作台上，滚子滑座 5 与铣刀滑座 6 连为一体，并保持两者轴线间的距离 k 不变。在重锤或弹簧拉力 F 的作用下，使滚子 4 压紧在靠模 3 上，铣刀 2 则保持与工件 1 接触。当工作台作纵向直线进给时，滑座得到一横向辅助运动，使铣刀按靠模的轮廓在工件上铣出所需的形状。

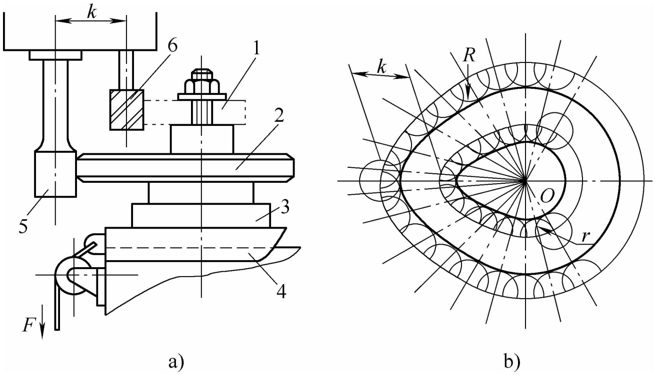


图 3-73 圆周进给式靠模铣床夹具示意图

a）示意图一 b）示意图二

1—工件 2—靠模 3—回转工作台 4—滑座

5—滚子 6—铣刀

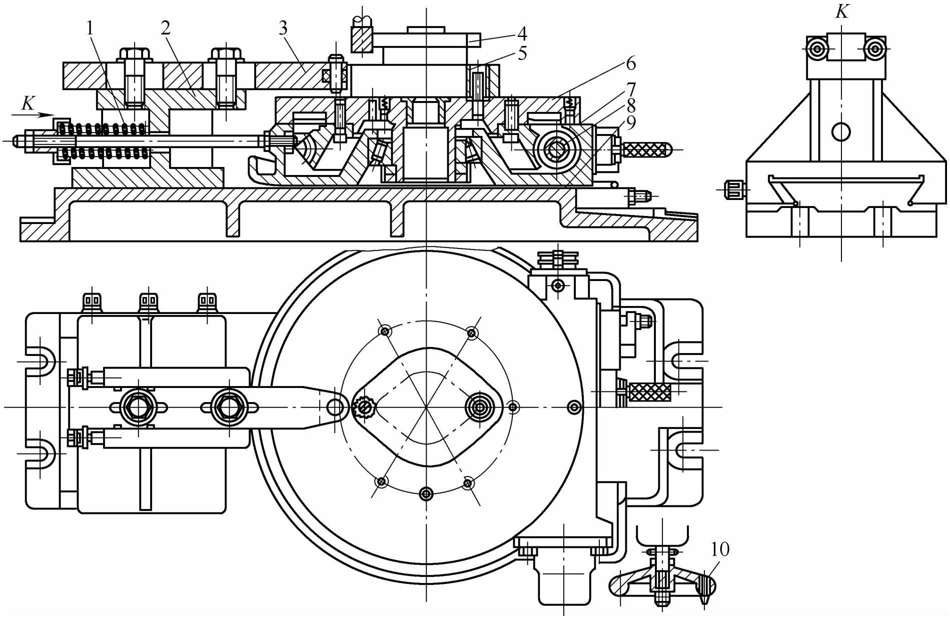


图 3-74 圆周进给靠模铣夹具实例

1—弹簧 2—支架 3—支板 4—工件 5—靠模 6—转盘

7—蜗轮箱 8—蜗杆 9—底座 10—手轮

图3-76所示为车床溜板油槽靠模铣削夹具。工件以底面和侧面在滑座6和两个挡销4上定位，通过手把1和3夹紧工件。底座7固定在铣床工作台上，底座7上装有8个滚动轴承用来安置滑座6，故滑座6移动十分灵活。滑座6的上方装有两靠模板2，靠模滚轮5装在刀杆上，和靠模板槽的两侧保持接触。当工作台作纵向运动时，靠模滚轮5迫使滑座6按靠模曲线的轨迹运动，从而加工出曲线油槽。两个油槽分两次加工。

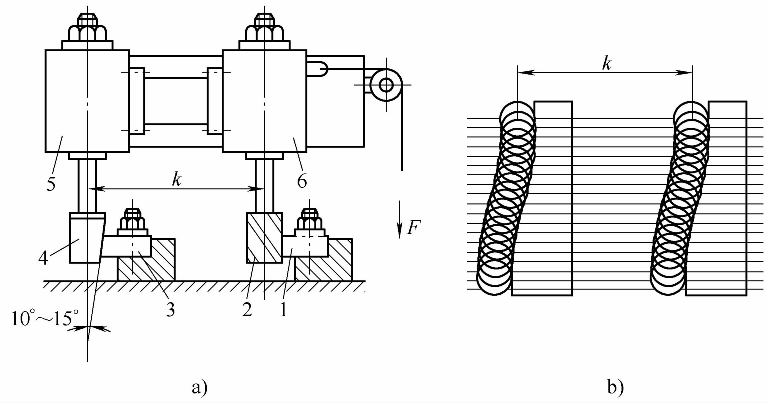


图 3-75 直线进给式靠模铣床夹具示意图

a）示意图一 b）示意图二

1—工件 2—铣刀 3—靠模 4—滚子 5—滚子滑座 6—铣刀滑座

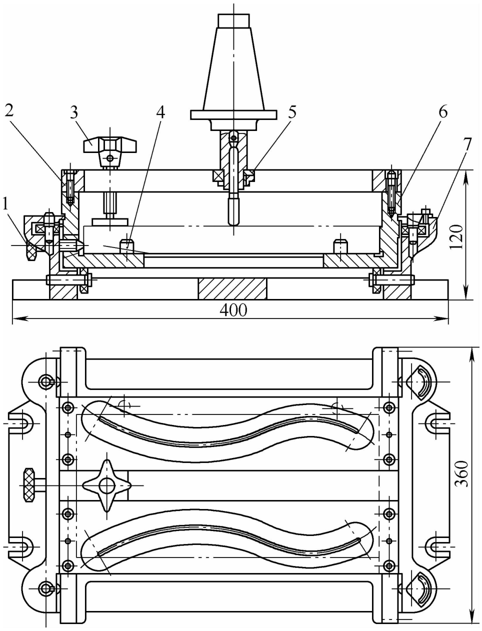


图 3-76 车床溜板油槽靠模铣削夹具

1、3—手把 2—靠模板 4—挡销 5—靠模滚轮 6—滑座 7—底座

3.2.9 可调整夹具

可调整夹具分为通用可调整夹具和成组夹具两类。这类夹具的特点是更换或调节夹具上的某些可换或可调元件，达到能加工若干不同种类工件的目的。而成组夹具是根据成组技术原理，针对某一组形状或工艺相似的工件而设计的，因而较为专用，故又称专用可调整夹具。以下介绍几种可调整夹具。

1. 可换机用虎钳钳口

在铣床加工一些形状较为复杂的工件（如连杆、拨叉、托架等）时，用普通机用虎钳钳口装夹困难。此时，可根据工件的结构形状和尺寸等条件，选用以下可换钳口，以满足工件装夹的需要。

1）图 3-77 所示为多用钳口，钳口上有圆弧面和台阶。圆弧面用于装夹加工圆形薄工件的凸台端面和连杆；台阶可用于装夹薄形工件，加工其端面、圆弧及凸轮面等。

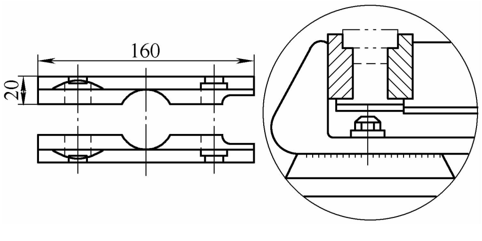


图 3-77 多用钳口

2）图 3-78 所示为活动钳口，用于装夹加工带有斜度和角度的工件，如斜度不同的楔铁及连杆等。使用时，将活动钳口的固定件装到机用虎钳的活动钳体上，摆动部分通过销轴与固定件连接，其最大旋转角为 6°。这种钳口能通过旋转夹紧工件，夹紧力均匀，夹紧可靠。

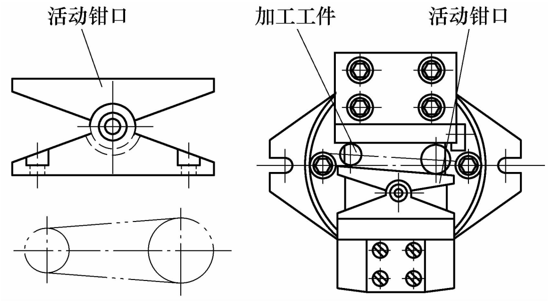


图 3-78 活动钳口

3）图 3-79 所示为圆弧钳口，由三段圆弧组成。两边的圆弧半径相等，可实现多件装夹，且定位准确，可减少装夹和找正的时间。

4）图 3-80 所示为几种可换钳口。其中，图 3-80a 是用 V 形块及平板作可换钳口，用于加工小圆柱工件；图 3-80b 是夹紧小圆柱工件时，使其同时受到向下夹紧力的可换钳口；图 3-80c 是同时夹紧三个工件的可换钳口，滑柱 3、小圆柱体 4 及斜面滑柱 5 能自动调节，以保证三个工件同时夹紧。

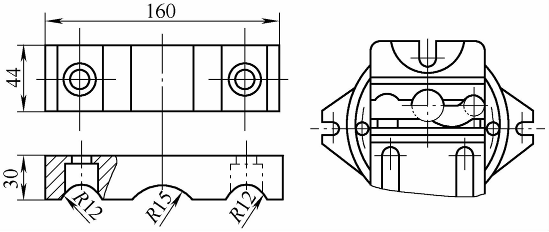


图 3-79 圆弧钳口

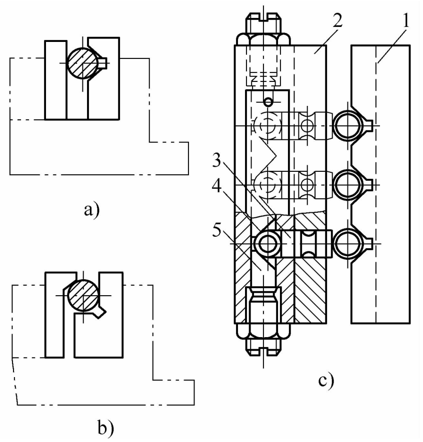


图 3-80 几种可换钳口

a）用 V 形块及平板作可换钳口 b）夹紧小圆柱工件时，使其同时受到向下夹紧力的可换钳口 c）同时夹紧三个工件的可换钳口

1—固定钳口 2—活动钳口 3—滑柱 4—小圆柱体 5—斜面滑柱

5）图 3-81 所示为铣削连杆顶面。在机用虎钳的固定钳口座 1 和活动钳口座 5 上分别紧固了两个 V 形块 2 和 6，用于连杆形工件，在立式铣床上铣削顶面。

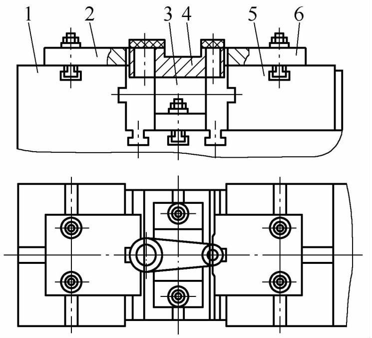


图 3-81 铣削连杆顶面

1—固定钳口座 2、6—V 形块 3—支承垫 4—连杆形工件 5—活动钳口座

6）图 3-82 所示为铣削铸件两端面。在平口虎钳的固定钳口座上装上摆动压板 3（夹紧

元件），在活动钳口座 6 上装有定位基准件，按槽和支承部分将工件定位，用于铣削工件 4 的两端面。

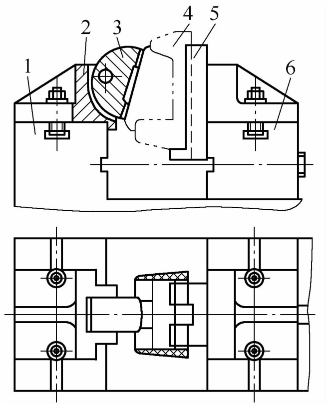


图 3-82 铣削铸件两端面

1—固定钳口座 2、5—专用钳口 3—摆动压板 4—工件 6—活动钳口座

2. 其他可调整夹具

1）图 3-83 所示为环形工件铣槽夹具。工件以内孔在心轴 2 上定位，用螺母 4 和开口垫圈 3 夹紧。心轴的一端为法兰盘形，其上有分度孔，工件的分度定位是通过手柄 5 操纵定位销 6 进行对定。心轴是利用顶尖和孔固定在夹具底座 1 上。对于同类工件但不同等分及尺寸的变化，可通过调换心轴来实现槽的铣削。

2）图 3-84 所示为铣拨叉叉脚平面的可调整夹具。可换定位心轴 6 及其垫圈、螺母是夹具的主要定位与夹紧元件，并可在夹具体的长通槽中上、下调节，以适应不同长度的拨叉。为防止铣削时叉口部分产生振动，两个可调节的浮动夹紧机构由手柄 4、切向夹紧套 10、压板 8、浮动压板 7 和弹簧 5 组成，并装在可调支承座 1 上，其位置由定位键 3 确定。此外，应根据拨叉叉脚厚度的不同来选择可换对刀块 2。

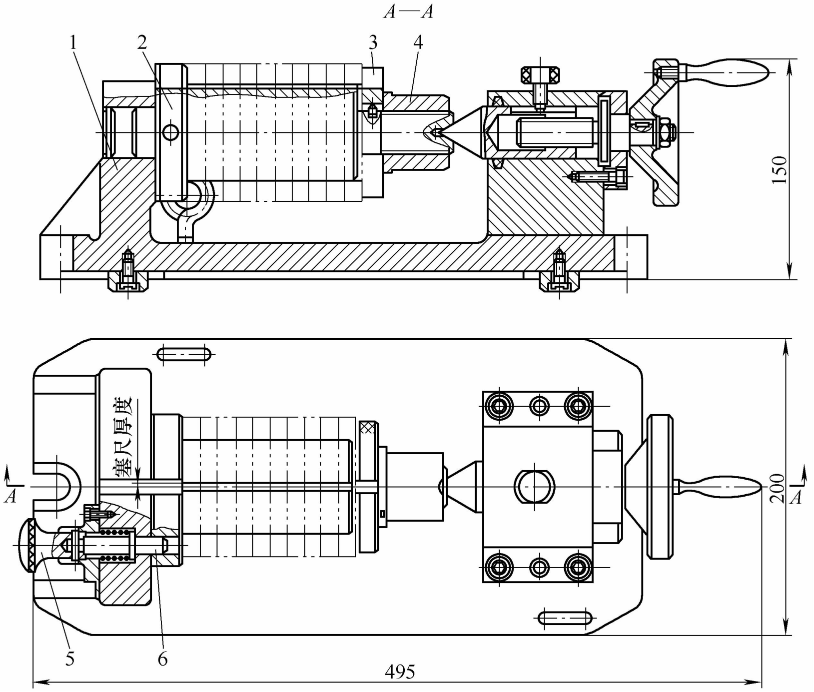


图 3-83 环形工件铣槽夹具

1—夹具底座 2—心轴 3—开口垫圈 4—螺母 5—手柄 6—定位销

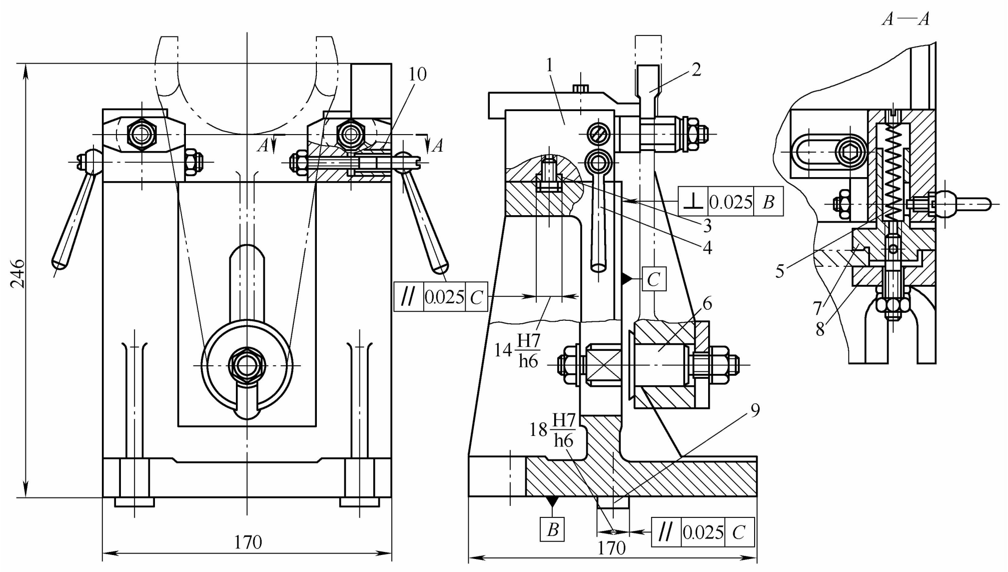


图 3-84 铣拨叉叉脚平面的可调整夹具

1—可调支承座 2—可换对刀块 3—定位键 4—手柄 5—弹簧
6—可换定位心轴 7—浮动压板 8—压板 9—定向键
10—切向夹紧套

3）图 3-85 所示为圆柱状工件多件气动铣床夹具。工件被置于可更换的滑动定位压块组 1 中，其轴向位置由可调挡块 2 定位。压块由两根导柱 3 串成一组，两端由位于夹具体侧面的两个摆动压板 5 压紧。当转动配气阀 6，且气缸活塞杆 7 向下运动时，活塞杆拉动转动压板 8，压向挺杆 9、10 而将工件定位、夹紧。通过更换滑动定位压块组和调整挡块的高低，即可加工各种圆柱状工件的平面及槽。

4）图 3-86 所示为杆类零件铣开口可调整夹具。为适应不同杆类零件铣开口的需要，可通过更换定位板、菱形销、圆柱销或定位销来达到工件正确的定位的目的。图 3-86 中的 b、c、d 为三个可换定位板。

5）图 3-87 所示为连杆成组铣床夹具。工件的两端外圆以定位块 1 的平面和 V 形面定位。下面以调节螺钉 2 定位。旋紧螺母 3，杠杆 4 经推杆 5 使摆动压块 6 将工件夹紧。由于 V 形定位块和摆动压块适合各类连杆，故只要调整调节螺钉 2，即可加工各种类似的连杆。

6）图 3-88 所示为轴、套类零件组铣削等分面的工序简图，包括 2、3、4、6 等分。图 3-89 所示为成组等分铣削夹具。夹具利用两个偏心轴 1 和手柄 3 进行分度、锁紧，可完成 2、3、4、6 等分表面的铣削。底座 7 为立、卧两用结构，可用于立式或卧式铣床。在分度心轴 5 上加装过渡盘后，可安装自定心卡盘；利用分度心轴 5 的莫氏 3 号锥孔，也可安装各种带莫氏 3 号的锥夹头，其结构图见图 3-90。

3.2.10 组合夹具

组合夹具是一种标准化、系列化通用化较高的机床夹具。它是由一套预先制造好的具有完全互换性和高精度的多种标准元件及其合件，根据不同工件的加工要求组装而成的。夹具使用后，经拆卸、清洗可重新组装再次使用。铣床组合夹具加工平面平行度的精度为 0.03/100mm，加工斜面的角度误差为 2′。

组合夹具有槽系和孔系两大类。槽系组合夹具主要通过键和槽确定元件之间的相互位置，而孔系组合夹具则是以销和孔来确定。

1. 槽系组合夹具的元件

槽系组合夹具的元件共分8大类，即基础件、支承件、定位件、导向件、压紧件、紧固件、其他件及合件。现将主要元件的名称、结构、规格介绍如下。

（1）基础件 基础件主要是起夹具体作用，通过它将其他元件或合件连接起来，装成组合夹具。常用的基础件见表3-8。

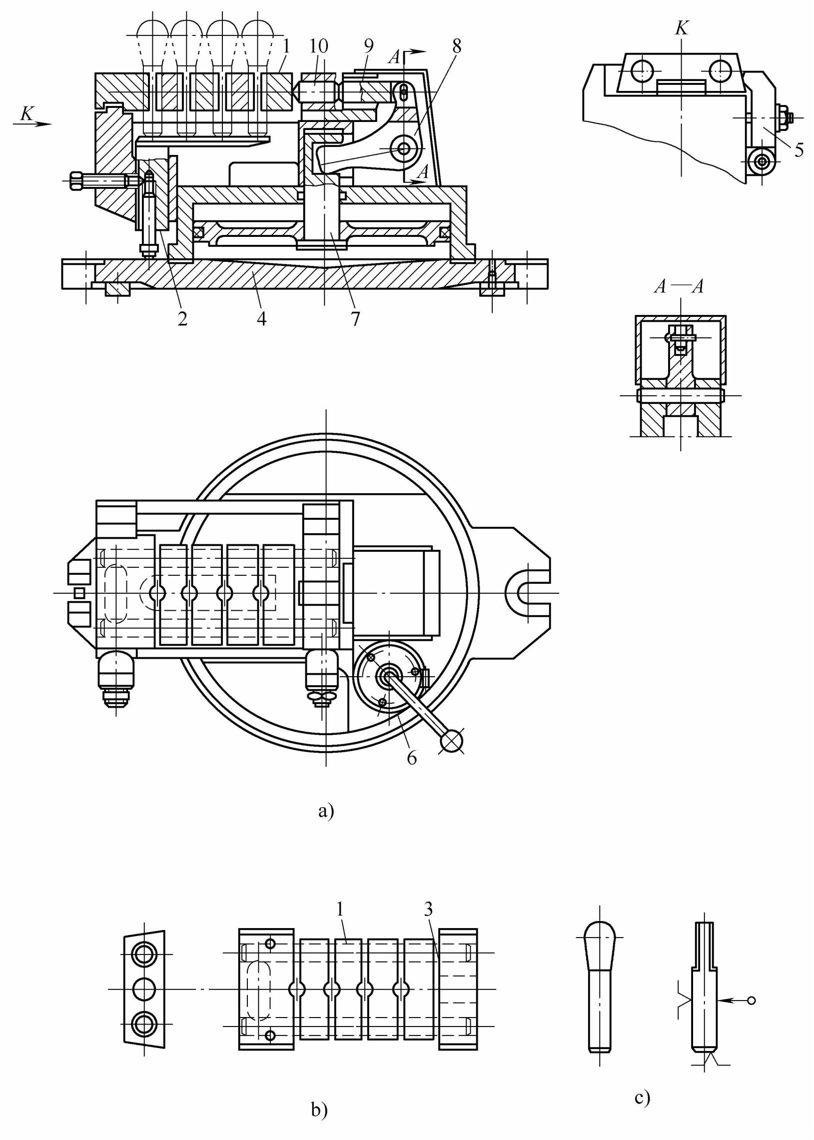


图3-85 圆柱状工件多件气动铣床夹具

a）铣床夹具示意图 b）可更换的滑动定位压块组 c）工件形状及其定位与夹紧

1—滑动定位压块组 2—可调挡块 3—导柱 4—夹具体 5—摆动压板

6—配气阀 7—气缸活塞杆 8—压板 9、10—挺杆

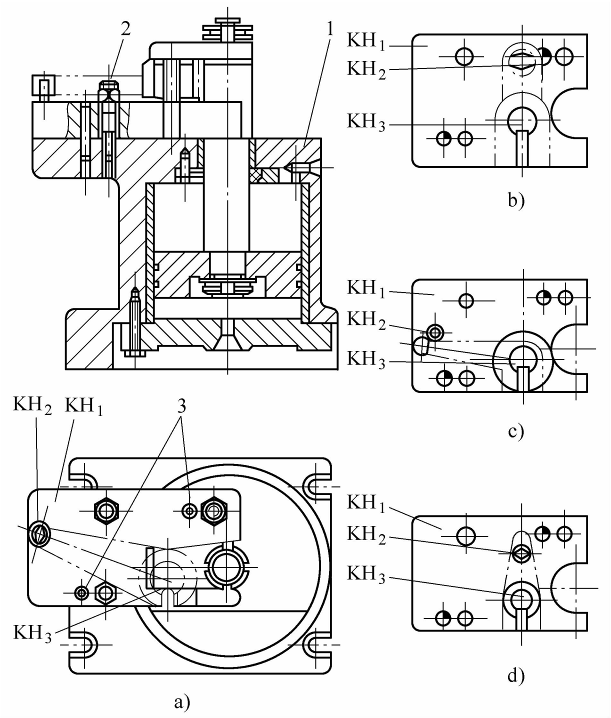


图 3-86 杆类零件铣开口可调整夹具

a）可调整夹具装配图 b）、c）、d）可换定位板

1—夹具体 2—定位板压紧螺栓 3—定位板限位销

KH$_1$—可换定位板 KH$_2$—可换定位菱形销或圆柱销 KH$_3$—可换定位销

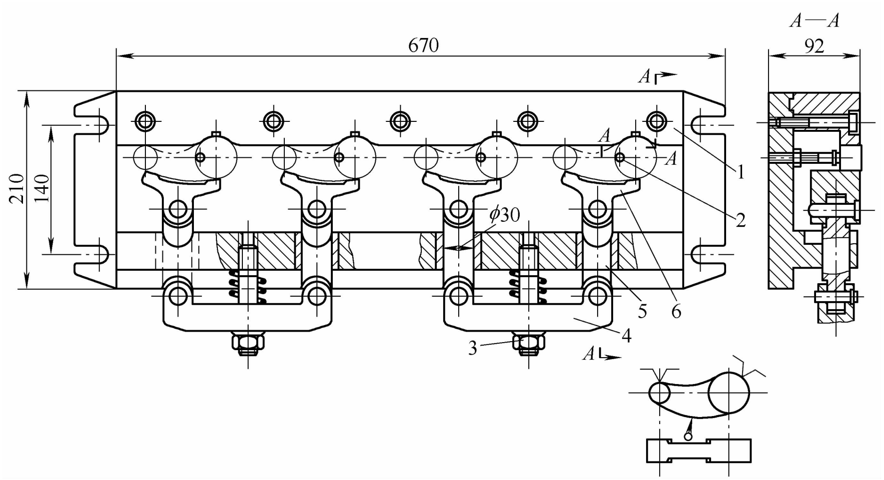


图 3-87 连杆成组铣床夹具

1—定位块 2—调节螺钉 3—螺母 4—杠杆

5—推杆 6—摆动压块

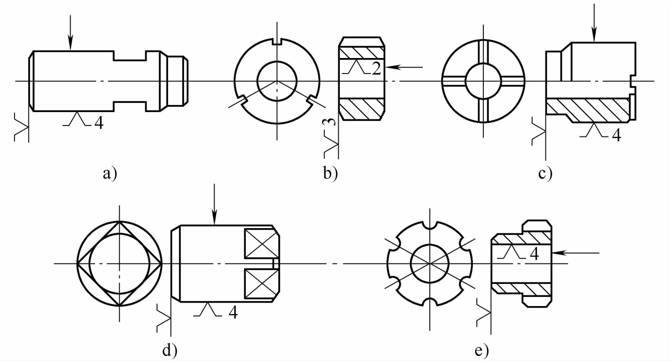


图 3-88 轴、套类零件组铣削等分面的工序简图

a）2 等分 b）3 等分 c）、d）4 等分 e）6 等分

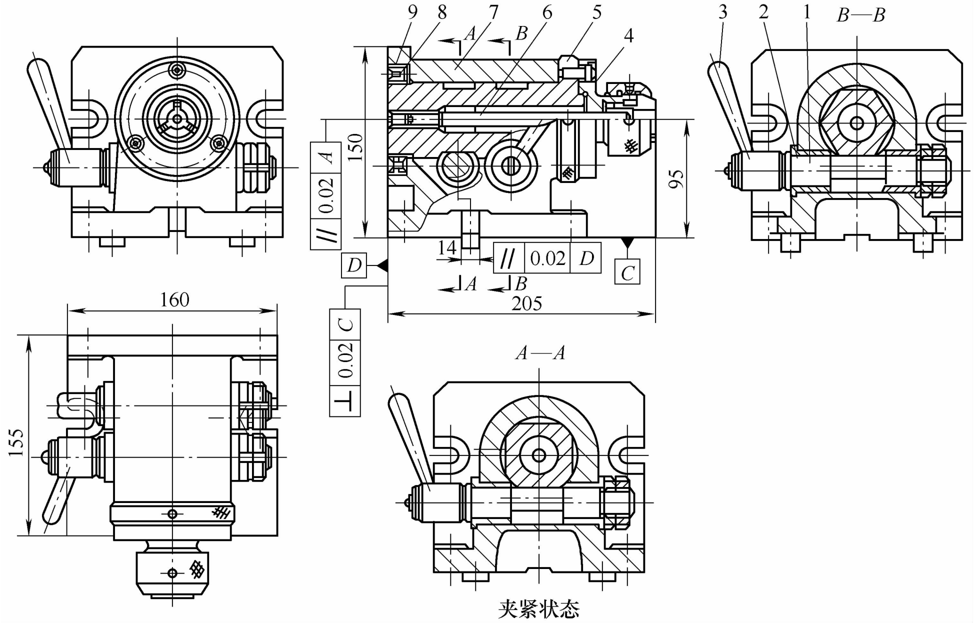


图 3-89 成组等分铣削夹具

1—偏心轴 2—衬套 3—手柄 4—夹头组件 5—分度心轴 6—定位杆 7—底座 8—垫圈 9—螺母

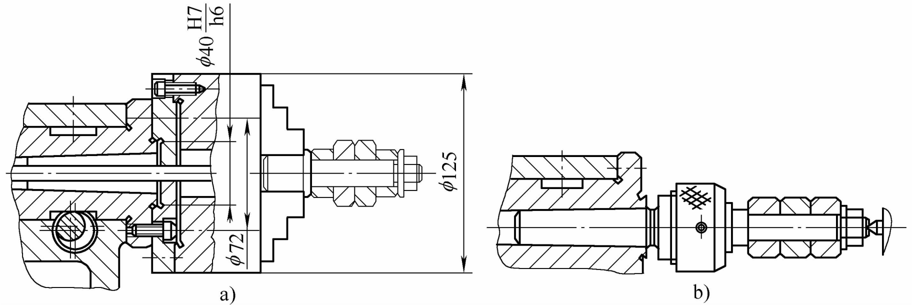
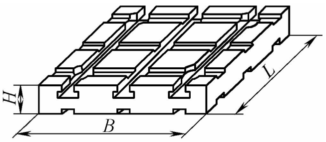
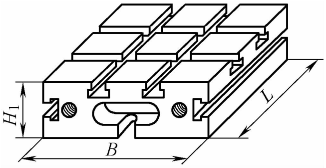
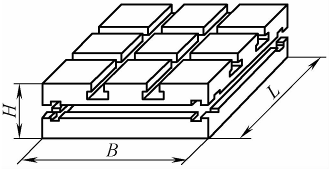
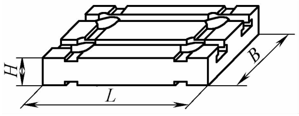
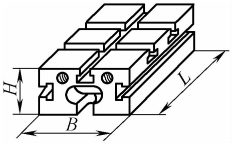
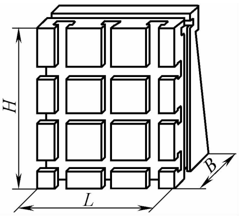


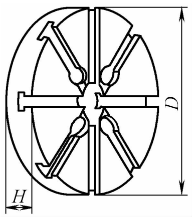
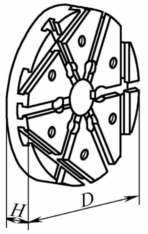
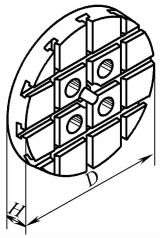
图 3-90 成组等分铣削夹具的结构图

a）装用自定心卡盘的结构图 b）装用带莫氏锥柄夹头的结构图

表 3-8　常用的基础件　　（单位：mm）

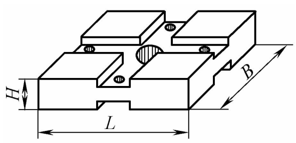
名　称	结构示意图	规格（$L \times B \times H$）
简式方形基础板		180 × 180 × 30
二侧槽方形基础板		180 × 180 × 60 240 × 240 × 60 300 × 300 × 60 360 × 360 × 60 420 × 420 × 60
四侧槽方形基础板		240 × 240 × 60 300 × 300 × 60 360 × 360 × 60
简式长方形基础板		180 × 120 × 30 240 × 120 × 30 300 × 120 × 40 240 × 180 × 30 300 × 180 × 40
长方形基础板		180 × 120 × 60 240 × 120 × 60 300 × 120 × 60 360 × 120 × 60 480 × 120 × 60 240 × 180 × 60 300 × 180 × 60 360 × 180 × 60 480 × 180 × 60 480 × 240 × 60 600 × 240 × 60 480 × 300 × 60 600 × 300 × 60
基础角铁		120 × 90 × 200 180 × 90 × 200 120 × 150 × 300 180 × 150 × 300

（续）

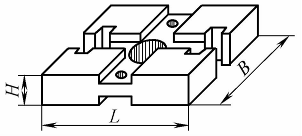
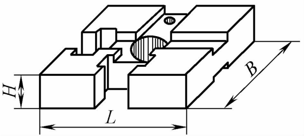
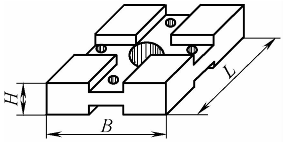
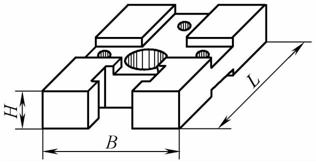
名　　称	结构示意图	规格（$D\times H$）
45°圆形基础板		240×35 360×45
60°圆形基础板		240×35 360×45
90°圆形基础板		240×35 300×40 360×45 480×50

（2）支承件　支承件包括各种垫片、垫板、支承、伸长板、加肋角铁、支承角铁和角度支承等。它在夹具中起上下连接作用，把定位件、导向件同基础板连接起来，是组合夹具中的骨架元件，常用的支承件见表3-9。

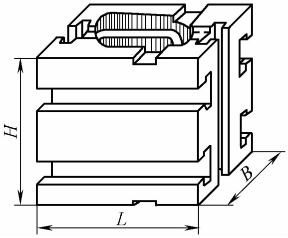
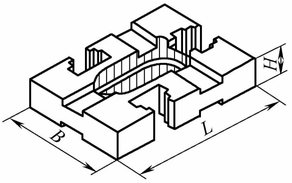
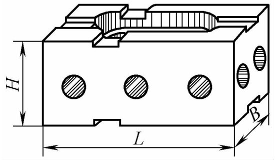
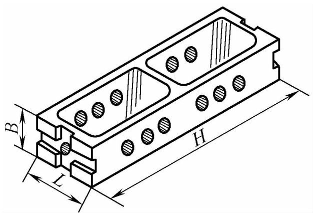
表 3-9　常用的支承件

名　　称	结构示意图	规格（$L\times B\times H$）
简式方支承		60×60×10 60×60×12.5 60×60×15 60×60×17.5 60×60×20

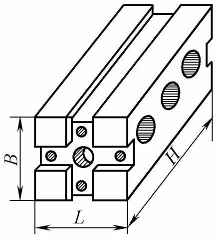
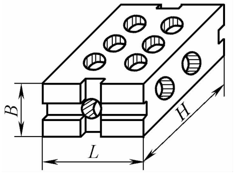
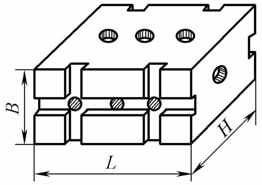
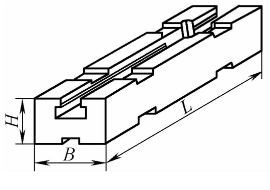
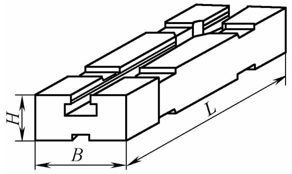
（续）

名　称	结构示意图	规格（$L \times B \times H$）
对称槽方支承		$60 \times 60 \times H$（垫片） $H = 1 \sim 2.5$ 间隔 0.05 $H = 2.5 \sim 5$ 间隔 0.5 60×60×10 60×60×12.5 60×60×15 60×60×17.5 60×60×20 60×60×30 60×60×40 60×60×60 60×60×80 60×60×120
直角槽方支承		60×60×10 60×60×12.5 60×60×15 60×60×17.5 60×60×20 60×60×30 60×60×40 60×60×60 60×60×80 60×60×120
简式小长方支承		60×45×10 60×45×12.5 60×45×15 60×45×17.5 60×45×20
小长方支承		$60 \times 45 \times H$（垫片） $H = 1 \sim 2.5$ 间隔 0.05 $H = 2.5 \sim 5$ 间隔 0.5 60×45×10 60×45×12.5 60×45×15 60×45×17.5 60×45×20 60×45×30 60×45×40 60×45×60 60×45×80 60×45×120

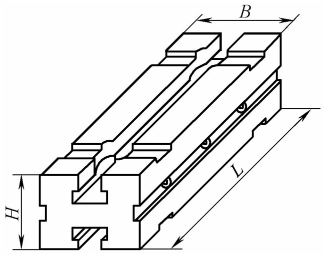
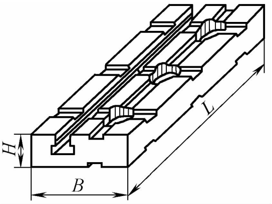
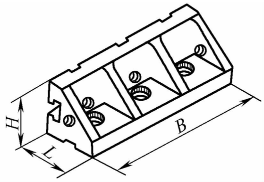
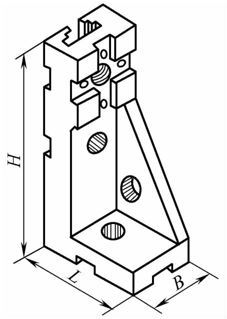
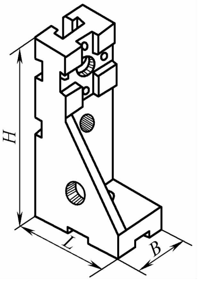
（续）

名　　称	结构示意图	规格（$L \times B \times H$）
对称槽大 长方支承		90×60×30 90×60×40 90×60×60 90×60×80 90×60×120
多槽大长方 支承		90×60×H（垫片） H=1~2.5（间隔0.05） H=2.5~5（间隔0.5） 90×60×10 90×60×12.5 90×60×15 90×60×17.5 90×60×20 90×60×30 90×60×40 90×60×60 90×60×80 90×60×120
紧固 支承		90×45×10 90×45×12.5 90×45×15 90×45×17.5 90×45×20 90×45×30 90×45×40 90×45×60 90×45×80
小长方 空心支承		60×45×80 60×45×120 60×45×150 60×45×180 60×45×210 60×45×240 60×45×300 60×45×360

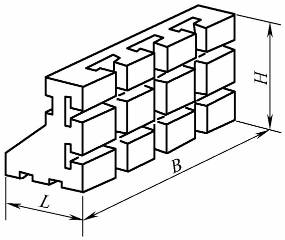
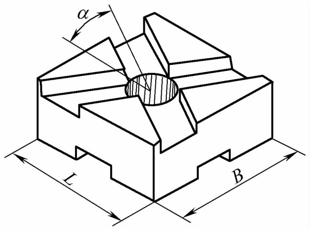
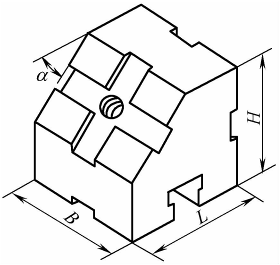
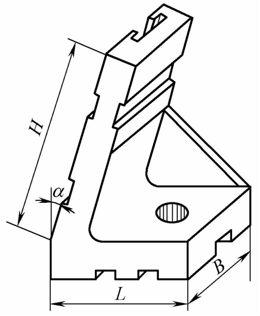
（续）

名　称	结构示意图	规格（$L \times B \times H$）
方空心 支承		60×60×80 60×60×120 60×60×150 60×60×180 60×60×210 60×60×240 60×60×300 60×60×360
大长方空 心支承		90×60×60 90×60×90 90×60×120 90×60×180 90×60×240 90×60×300 90×60×360
加长空心 支承		120×60×80 120×60×120
45mm 宽单 槽伸长板		120×45×30 150×45×30 180×45×30 210×45×30 240×45×30 300×45×30 360×45×30
60mm 宽单 槽伸长板		120×60×30 150×60×30 180×60×30 210×60×30 240×60×30 300×60×30 360×60×30 420×60×30

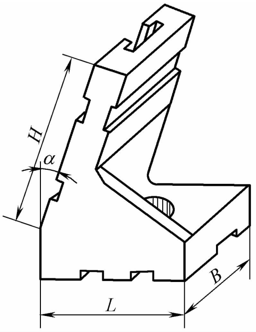
（续）

名　　称	结构示意图	规格（$L\times B\times H$）
60mm 宽双槽伸长板		360×60×45 420×60×45 480×60×45 540×60×45 600×60×45
90mm 宽单槽伸长板		180×90×30 240×90×30 300×90×30 360×90×30
加肋角铁		60×60×60 60×90×60 60×120×60 60×180×60 60×240×60 60×300×60
左支承角铁		60×60×120 60×60×180 90×60×240 90×60×300
右支承角铁		60×60×120 60×60×180 90×60×240 90×60×300

（续）

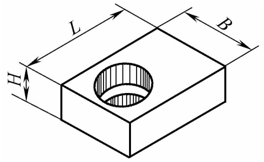
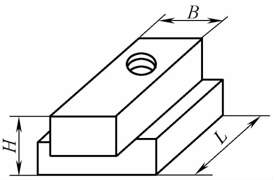
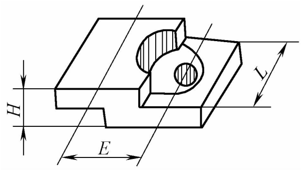
名　　称	结构示意图	规格（$L \times B \times H$）
宽角铁		$90 \times 180 \times 120$ $90 \times 240 \times 120$
角度垫板		（$L \times B \times \alpha$） $60 \times 60 \times 15°$ $60 \times 60 \times 30°$ $60 \times 60 \times 45°$ $60 \times 60 \times 60°$ $60 \times 60 \times 75°$
角度支承		（$L \times B \times H \times \alpha$） $60 \times 60 \times 60 \times 15°$ $60 \times 60 \times 60 \times 30°$ $60 \times 60 \times 60 \times 45°$
左角度支承		（$L \times B \times H \times \alpha$） $90 \times 60 \times 120 \times 15°$ $90 \times 60 \times 120 \times 30°$ $90 \times 60 \times 120 \times 45°$ $120 \times 60 \times 180 \times 15°$ $120 \times 60 \times 180 \times 30°$ $120 \times 60 \times 180 \times 45°$

（续）

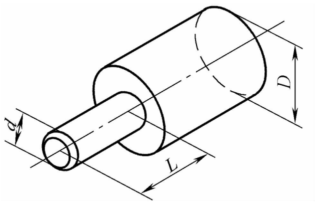
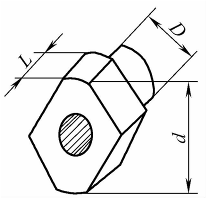
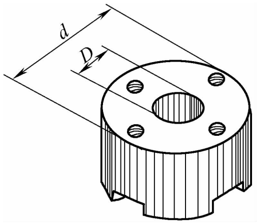
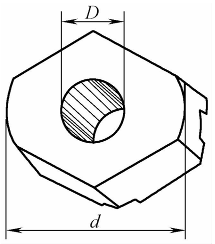
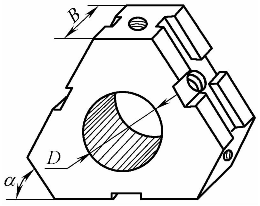
名　　称	结构示意图	规格（$L\times B\times H\times\alpha$）
右角度支承		90×60×120×15° 90×60×120×30° 90×60×120×45° 120×60×180×15° 120×60×180×30° 120×60×180×45°

（3）定位件　定位件主要用来保证夹具元件之间和工件在夹具中的正确定位。常用的定位件见表 3-10。

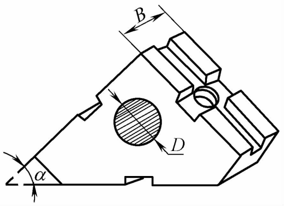
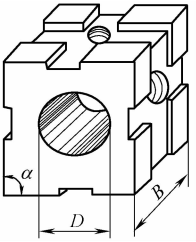
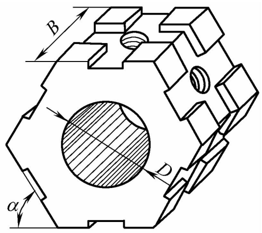
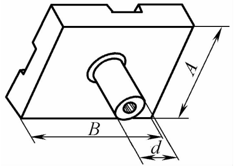
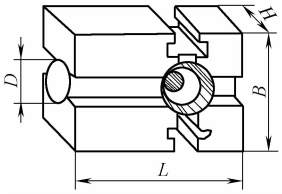
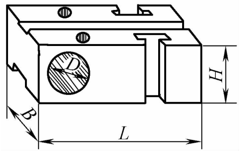
表 3-10　常用的定位件　　（单位：mm）

名　　称	结构示意图	规格	
平键		（$L\times B\times H$）	
		13×12×5 15.5×12×5 20×12×5 30×12×5 40×12×5 13×12×8 15.5×12×8 20×12×8 13×12×10 15.5×12×10	20×12×10 13×12×12 15.5×12×12 20×12×12 13×12×14 15.5×12×14 20×12×14 13×12×16 15.5×12×16 20×12×16
T 形键		（$L\times B\times H$）	
		20×12×12 20×12×15 20×12×19 30×12×15 30×12×19	30×12×22 30×12×30 45×12×15 45×12×19
偏心键		（$L\times E\times H$）	
		13×1×5.5 13×2×5.5 13×3×5.5 13×4×5.5 13×5×5.5 13×6×5.5	

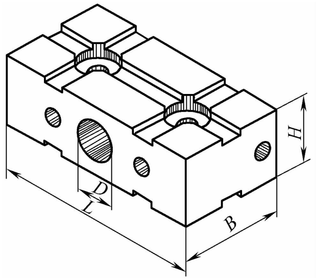
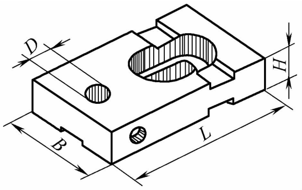
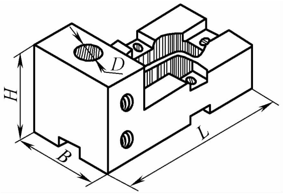
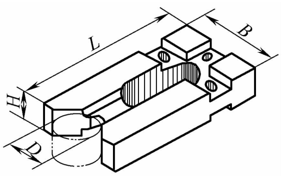
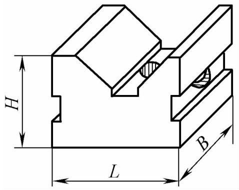
（续）

名　　称	结构示意图	规格
圆形定位销		($d \times D \times L$) 3—6×18×8 6—10×18×10 6—10×18×20 10—18×18×10 10—18×18×20 18—30×18×10 18—30×18×20 30—50×18×10 30—50×18×20
菱形定位销		($d \times D \times L$) 3—6×18×8 6—10×18×10 6—10×18×20 10—18×18×10 10—18×18×20 18—20×18×10 18—20×18×20 20—30×18×10 20—30×18×20 30—50×18×10 30—50×18×20
圆形定位盘		($D \times d$) 18×45 18×47 18×50 18×52 18×55 18×60 18×62 18×65 18×68 18×70 18×72 18×75 18×80 18×85 18×90 18×95 18×100 18×110 18×115 18×120
菱形定位盘		($D \times d$) 18×45 18×47 18×50 18×52 18×55 18×60 18×62 18×65 18×68 18×70 18×72 18×75 18×80 18×85 18×90 18×95 18×100 18×110 18×115 18×120
三棱定位支座		($D \times B \times \alpha$) 26×45×60° 35×60×60°

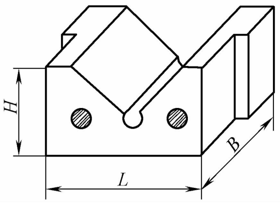
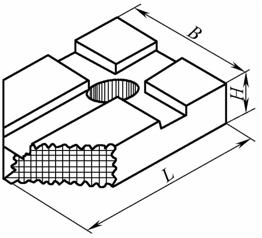
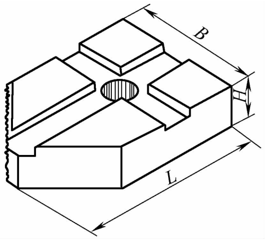
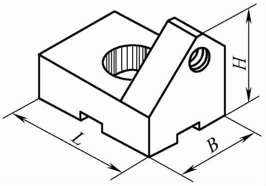
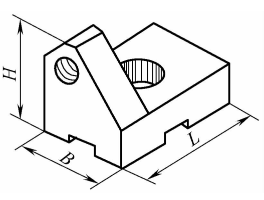
（续）

名　　称	结构示意图	规格
角度支座		（$D \times B \times \alpha$） $18 \times 45 \times 45°$
方形定位支座		（$D \times B \times \alpha$） $18 \times 45 \times 90°$ $26 \times 45 \times 90°$ $35 \times 60 \times 90°$ $45 \times 60 \times 90°$ $58 \times 60 \times 90°$ $70 \times 60 \times 90°$
六棱定位支座		（$D \times B \times \alpha$） $45 \times 60 \times 60°$ $58 \times 60 \times 60°$
定位接头		（$A \times B \times d$） $30 \times 45 \times 18$ $45 \times 60 \times 18$ $45 \times 60 \times 26$
端孔定位支承		（$D \times L \times B \times H$） $18 \times 60 \times 45 \times 30$ $18 \times 90 \times 45 \times 30$ $18 \times 60 \times 60 \times 30$ $26 \times 90 \times 60 \times 40$
侧孔定位支承		（$D \times L \times B \times H$） $18 \times 90 \times 45 \times 30$ $18 \times 90 \times 60 \times 30$

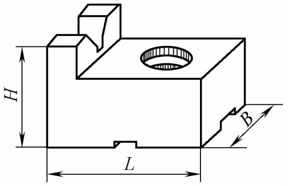
（续）

名　　称	结构示意图	规格
侧中孔定位支承		$(D\times L\times B\times H)$ 18×120×60×30
无台阶定位板		$(D\times L\times B\times H)$ 18×90×45×20
有台阶定位板		$(D\times L\times B\times H)$ 18×90×45×40 26×100×45×50 18×90×45×60
V 形板		$(L\times B\times H\times D)$ 90×45×10×15 90×45×10×20 90×45×10×25 90×60×10×20 90×60×10×25 90×60×10×30 90×45×20×15 90×45×20×20 90×45×20×25 90×60×20×20 90×60×20×25 90×60×20×30
V 形支承		$(L\times B\times H)$ 60×45×40 75×45×45 90×45×50 120×60×60

（续）

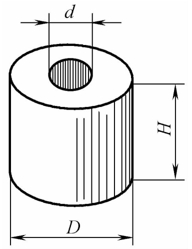
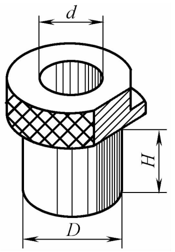
名　称	结构示意图	规格
活动 V 形架		$(L\times B\times H)$ 60×23.5×30
左菱形板		$(L\times B\times H)$ 90×60×20
右菱形板		$(L\times B\times H)$ 90×60×20
左角铁		$(L\times B\times H)$ 60×45×52 60×45×72
右角铁		$(L\times B\times H)$ 60×45×52 60×45×72

（续）

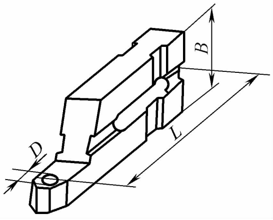
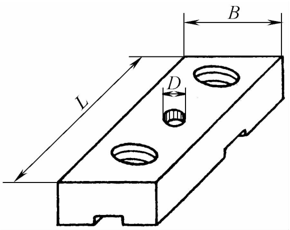
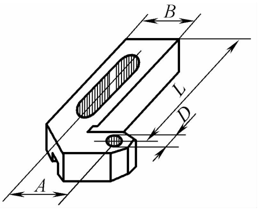
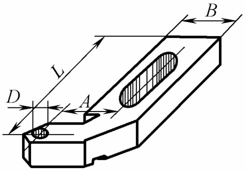
名　　称	结构示意图	规格
V 形角铁		（$L \times B \times H$） 45×30×30 45×30×40 52.5×45×40 52.5×45×60 52.5×60×45 52.5×60×65 60×75×60 60×75×90

（4）导向件　导向件主要用来确定工件与刀具的相对位置，加工时正确引导刀具。常用的导向件见表 3-11。

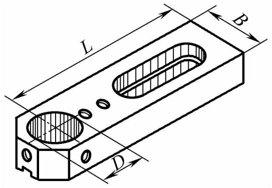
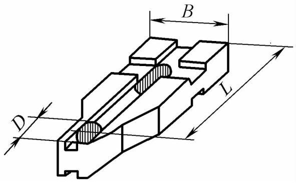
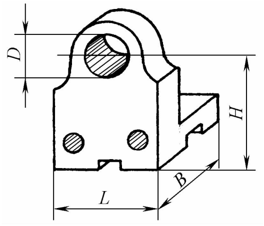
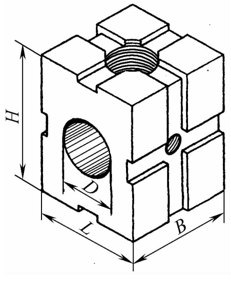
表 3-11　常用的导向件　　（单位：mm）

名　　称	结构示意图	规格
固定钻套		（$D \times d \times H$） 12×3—8×15 18×8.5—14×20 26×14.5—20×20 35×20.5—26.6×24 35×27—30×45
快换钻、镗套		（$D \times d \times H$） 12×3—8×15 12×3—8×22 18×6—13×20 18×6—13×30 20×13—20×20 26×13—20×30 26×13—20×45 35×20—28×30 35×20—28×45 45×28—38×32 45×28—38×60 58×38—48×45 58×38—48×60 70×58×60 90×70×60 120×90×60

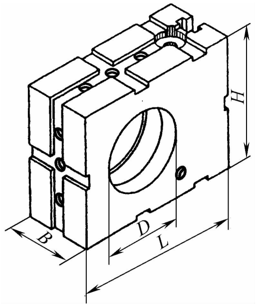
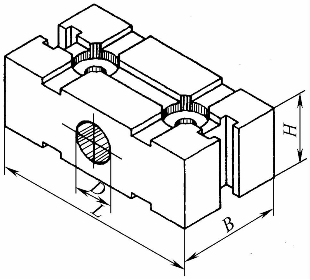
（续）

名　　称	结构示意图	规格
立式钻模板		（D×L×B） 12×82.5×45 12×97.5×45 12×112.5×45 12×142.5×45
中孔钻模板		（D×L×B） 18×90×45 18×120×45 18×150×45 18×180×45 18×240×45 26×180×60 26×240×60 26×300×60 26×360×60 35×180×60 35×240×60 35×300×60 35×360×60 45×240×60 45×300×60 45×360×60 58×240×60 58×300×60 58×360×60
左偏心钻模板		（D×L×B×A） 12×110×30×15 12×140×30×15 12×110×30×30 12×140×30×30 18×110×30×15 18×140×30×15 18×110×30×30 18×140×30×30
右偏心钻模板		（D×L×B×A） 12×110×30×15 12×140×30×15 12×110×30×30 12×140×30×30 18×110×30×15 18×140×30×30 18×110×30×30 18×140×30×30

（续）

名称	结构示意图	规格
钻模板		(D×L×B) 12×82.5×30 12×112.5×30 12×142.5×30 18×82.5×30 18×112.5×30 18×142.5×30 18×45×45 18×52.5×45 18×67.5×45 18×90×45 18×105×45 18×120×45 18×150×45 18×180×45 18×210×45 26×90×45 26×120×45 26×150×45 26×180×45 26×210×45 35×120×60 35×150×60 35×180×60 35×210×60 45×120×60 45×150×60 45×180×60 45×210×60
双槽钻模板		(D×L×B) 18×90×45 18×105×45 18×120×45 18×150×45 26×90×45 26×120×45 26×150×45 35×120×60 35×150×60 45×120×60 45×150×60 45×180×60 45×210×60
角铁形镗孔支承		(D×L×B×H) 18×45×60×60 26×45×60×60 35×60×60×75 45×60×60×75
长方形镗孔支承		(D×L×B×H) 35×60×60×80 45×70×60×100 58×80×60×105 70×120×60×110 90×120×60×130

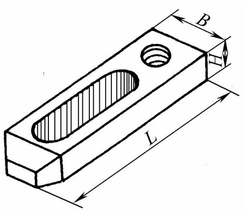
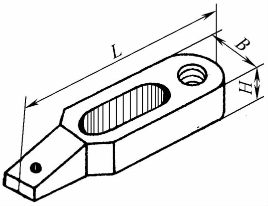
（续）

名　　称	结构示意图	规格
侧孔镗孔支承		($D \times L \times B \times H$) 26 × 110 × 45 × 40 26 × 110 × 60 × 40 35 × 90 × 60 × 50 45 × 120 × 60 × 60 58 × 120 × 60 × 90 70 × 120 × 60 × 90 90 × 150 × 60 × 120 120 × 180 × 60 × 150
侧中孔镗孔支承		($D \times L \times B \times H$) 26 × 120 × 60 × 40 35 × 120 × 60 × 50 45 × 120 × 60 × 60 58 × 150 × 60 × 90 70 × 180 × 60 × 100 90 × 180 × 60 × 120

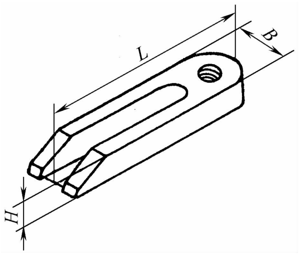
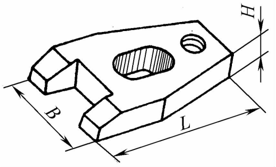
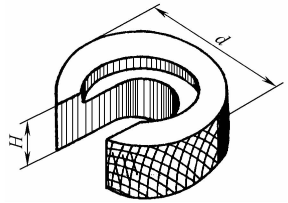
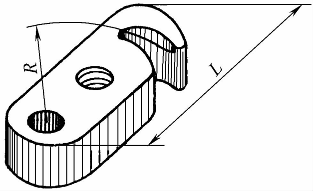
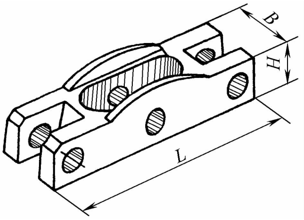
（5）压紧件　压紧件包括各种压板，主要用于夹紧工件。常用的压紧件见表 3-12。

（6）紧固件　紧固件包括各种螺栓、螺钉、螺母和垫圈等，主要用于把夹具上的各种元件紧固在一起，并通过压板夹紧工件。常用的紧固件见表 3-13。

表 3-12　常用的压紧件　　（单位：mm）

名　　称	结构示意图	规格
平压板		($L \times B \times H$) 65 × 28 × 12 80 × 35 × 16 95 × 40 × 18
伸长压板		($L \times B \times H$) 110 × 28 × 14 140 × 35 × 18 175 × 40 × 22

（续）

名　　称	结构示意图	规格
U 形压板		(*L*×*B*×*H*) 100×37×14
叉形压板		(*L*×*B*×*H*) 110×28×14 120×40×18 137.5×60×20
圆形压板		(*d*×*H*) 40×10 50×10 60×10 70×10 80×10 90×12 100×12 110×12 120×12
回转压板		(*L*×*R*) 70×40 90×60 110×80 150×120
关节压板		(*L*×*B*×*H*) 115×35×22 145×35×25 205×40×27 265×40×30

（续）

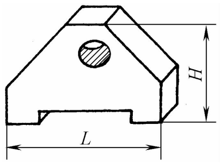
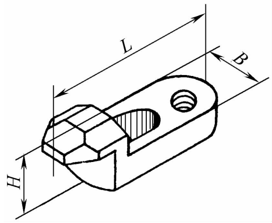
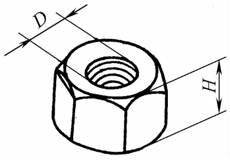
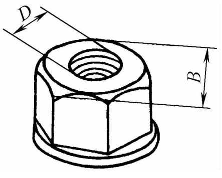
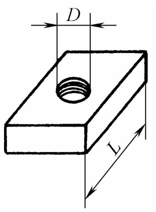
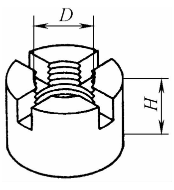
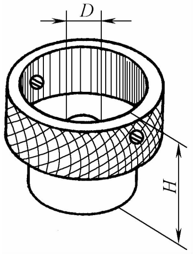
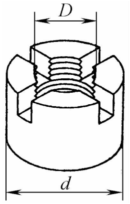
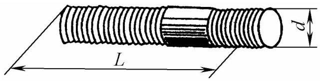
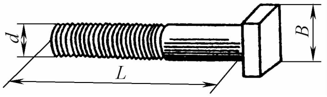
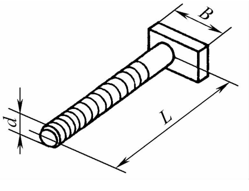
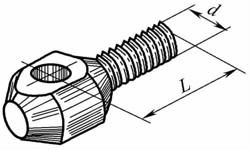
名　　称	结构示意图	规格
摇板		($L \times H$) 30×33 60×38
弯压板		($L \times B \times H$) 80×28×20 100×35×28 120×40×35

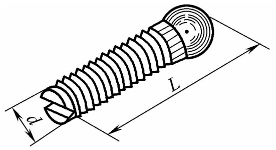
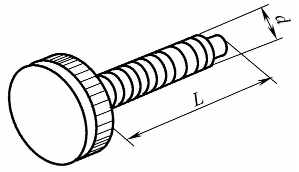
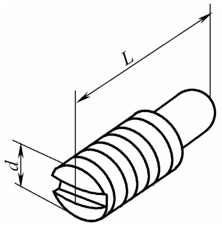
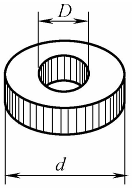
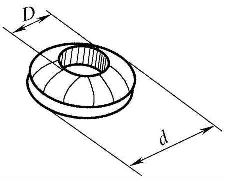
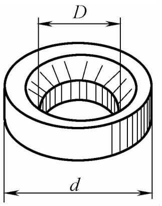
表 3-13　常用的紧固件　　（单位：mm）

名　　称	结构示意图	规格
六角螺母		($D \times H$) 12×6 12×14 12×25
带肩六角螺母		($D \times B$) 12×17 12×19
长方螺母		($D \times L$) 12×19 12×45
圆螺母		($D \times H$) 12×10 12×20 12×30

（续）

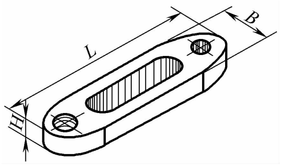
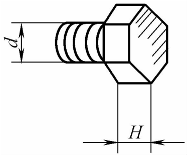
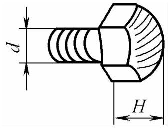
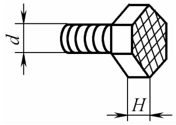
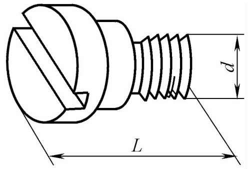
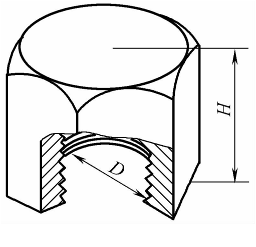
名　　称	结构示意图	规格
滚花螺母		（$D \times H$） 12 × 30
过渡螺母		（$D \times d$） 12 × 24
双头螺栓		（$D \times d$） 12 × 70 12 × 80 12 × 90 12 × 105 12 × 120 12 × 140 12 × 160 12 × 180 12 × 200 12 × 220 12 × 270 12 × 320
槽用方头螺栓		（$d \times B \times L$） 12 × 19 × L L = 15 ~ 140 间隔 5 L = 140 ~ 200 间隔 10 L = 200 ~ 300 间隔 25
槽用长方头螺栓		（$d \times B \times L$） 12 × 28 × L L = 15 ~ 140 间隔 5 L = 140 ~ 200 间隔 10 L = 200 ~ 300 间隔 25
关节螺栓		（$d \times L$） 12 × 40 12 × 50 12 × 60 12 × 75 12 × 90 12 × 105 12 × 120 12 × 140 12 × 160 12 × 180 12 × 200

（续）

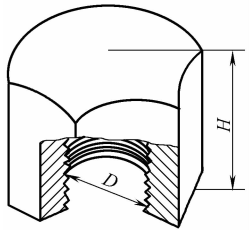
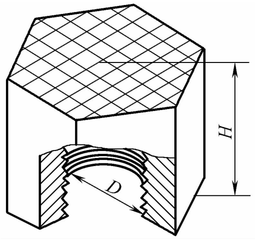
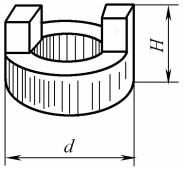
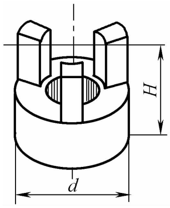
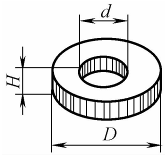
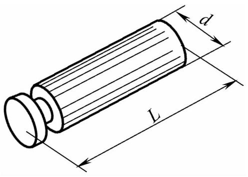
名　　称	结构示意图	规格
球头螺栓		(d×L) 12×50　12×90 12×60　12×100 12×70　12×120 12×80　12×140
压紧螺钉		(d×L) 12×50 12×60　12×120 12×75　12×140 12×90　12×160 12×105　12×180
定位螺钉		(d×L) 6×10 6×15　12×20 8×18　12×30 8×25　12×40 8×35　12×50 8×45　12×60 8×55　12×70 12×15　12×80
平垫圈		(D×d) 13×28 13×34
凸球面垫圈		(D×d) 13×28
凹球面垫圈		(D×d) 15×28

（7）其他件　这类元件有的有比较明显的用途，有的常无固定的用途，如选用得当，能在夹具组装中产生十分有利的辅助作用。它多用于组装或搬运过程。常用的其他件见表 3-14。

表 3-14　常用的其他件

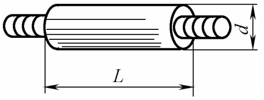
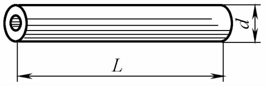
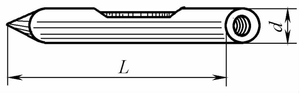
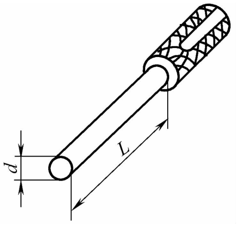
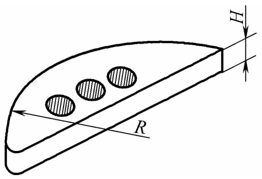
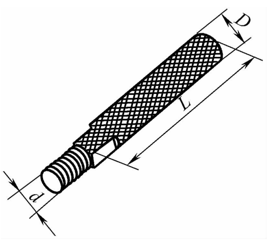
名　　称	结构示意图	规格
连接板		($L\times B\times H$) 30×80×15　35×184×20 30×100×15　35×214×20 30×120×15　35×244×20 30×140×15　40×300×25 30×160×18　40×350×25
平面支钉		($d\times H$) 12×10
球头支钉		($d\times H$) 12×10 12×20
鳞齿支钉		($d\times H$) 12×10 12×20
钻套螺钉		($d\times L$) 6×17 8×21 12×30
平面支承帽		($D\times H$) 12×20

（续）

名　　称	结构示意图	规格
球面支承帽		$(D \times H)$ 12×20 12×30
鳞齿支承帽		$(D \times H)$ 12×20 12×30
二爪支承		$(H \times d)$ 30×35 35×45 40×58
三爪支承		$(H \times d)$ 30×35 35×45 40×58
支承环		$(d \times D \times H)$ $13 \times 22 \times H$　　$27 \times 36 \times H$ $19 \times 28 \times H$　　$36 \times 45 \times H$ H: 0.5 / 10, 1 / 15, 2 / 20, 3 / 40, 5 / 60
轴销		$(d \times L)$ 12×40 12×45

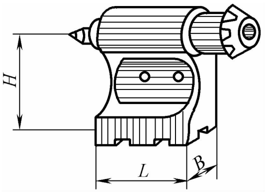
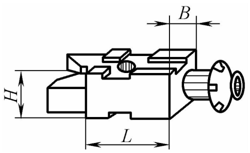
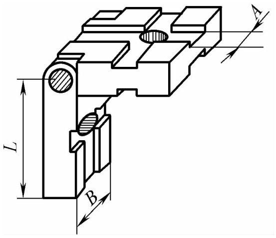
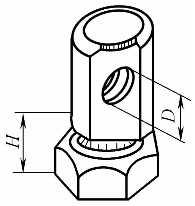
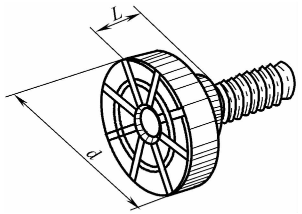
H	0.5	1	2	3	5
	10	15	20	40	60

（续）

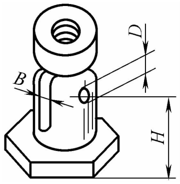
名　　称	结构示意图	规格
对位轴		($d \times L$) 18×90 18×120 18×180 18×240 18×300
空心轴		($L \times d$) 90×26 120×26 180×26 240×26 300×26 360×26 180×35 240×35 300×35 360×35
顶尖		($d \times L$) 18×45 18×90 18×120
对定栓		($d \times L$) 6×55 7×55 8×55 9×55 10×55 11×80 12×80 13×80 14×80 15×80 16×80 17×80 18×80 19×80 20×80
平衡块		($R \times H$) 120×15 150×15 180×15 120×20 150×20 180×20 120×35 150×35 180×35
手柄		($D \times d \times L$) 17×12×100

（8）合件　合件是不拆散使用的独立部件。使用合件可简化夹具结构，加快组装速度，并扩大组合夹具的应用范围。常用的合件见表 3-15。

表 3-15　常用的合件　　（单位：mm）

名　　称	结构示意图	规格
顶尖座		$(L \times B \times H)$ 90×60×90
可调 V 形铁		$(L \times B \times H)$ 140×45×35 160×60×40
折合板		$(A \times B \times L)$ 12×45×70 12×60×70
侧支钉		$(H \times D)$ 18×12 24×12 28×12 38×12
摆动头		$(d \times L)$ 28×24 40×24 60×24

（续）

名　　称	结构示意图	规格
		（$B \times H \times D$）
关节叉头		14 × 34 × 12

2. 铣削加工组合夹具应用实例

1）图 3-91 所示的销轴，在图 3-92 所示的组合夹具上铣削顶面上宽 6mm、深 4mm 的开口槽。销轴以活动 V 形铁（7 个）4 点定位，中孔钻模板作为 1 点定位。拧紧六角螺母，通过球面支承帽顶紧活动 V 形铁，即可定位和夹紧 7 个工件。V 形铁和工件都装在用对称槽方支承、单槽伸长板等元件组成的框架中。V 形铁是以两个单槽伸长板的 T 形槽定位，并可沿 T 形槽移动。整个框架都安装在长方形基础板上。为保证铣槽的对称度，组装夹具时，需调整并检验 7 个活动 V 形铁的同轴度。

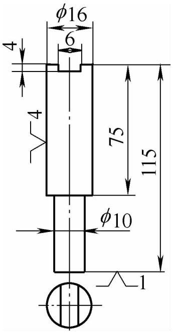


图 3-91　销轴简图

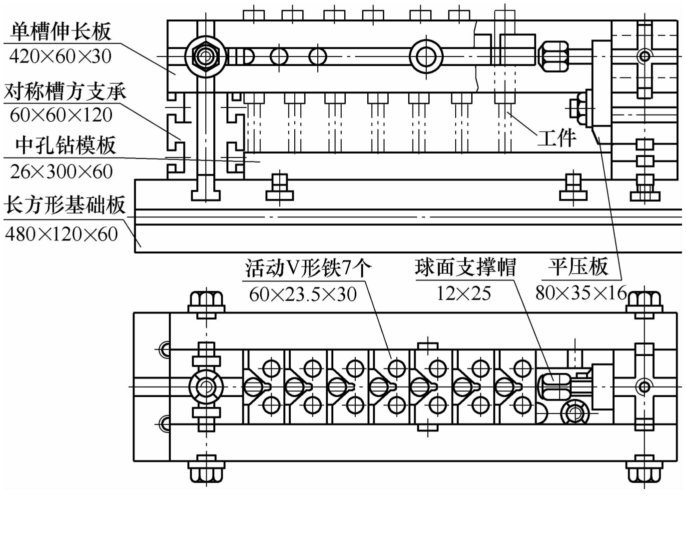


图 3-92　铣多件轴槽夹具

2）图 3-93 所示的定位杆，在图 3-94 所示的组合夹具上铣削 50H7mm 的直槽。工件以大平面和 ϕ40H7mm 孔定位，并以鳞齿支钉 10 限制工件转动的自由度，实现完全定位。通过平压板 3 和圆形压板 6 夹紧工件。夹具的定位、夹紧装置均安装在由长方形基础板所组成的弯板上。

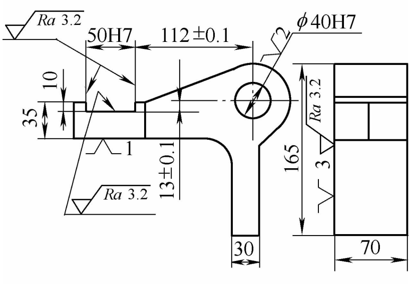


图 3-93 定位杆简图

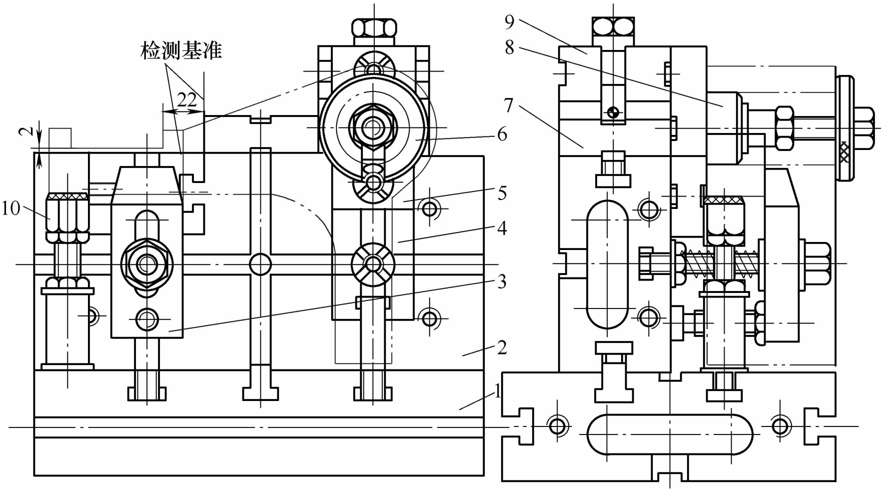


图 3-94 铣直槽组合夹具

1、2—长方形基础板 3—平压板 4—小长方支承 5—中孔钻模板 6—圆形压板 7—筒式方支承 8—圆形定位销 9—对称槽方支承 10—鳞齿支钉

3）图 3-95 所示的工件，其台阶平面 *A*、*B*、*C* 在图 3-96 所示的组合夹具上进行铣削加工。夹具用两个长方形基础板组成弯板基体。在垂直安置的基础板上，组装的多槽大长方支承、小长方支承和筒式小长方支承实现工件的三点定位，并以装在多槽大长方支承键槽中的平键侧面构成一点定位；而两个 ϕ45mm 圆形定位盘组装成倾斜 12°，限制了工件的两个自由度，使工件实现完全定位。两个圆形定位盘的水平方向中心距为 120mm，一个用十字定位键固定，一个按正切公式的计算尺寸（120mm × tan12° = 25.51mm）组装。调准平面支承帽的支承高度（41.99），就能使两个 ϕ45mm 圆形定位盘在垂直方向的中心距为 25.51mm，构成 12°的角度定位。利用两个叉形压板和支承环等组装成夹紧机构，以实现工件的夹紧。图中标注的尺寸 4.64 和 14 是铣削 *A*、*B*、*C* 三个平面的对刀尺寸。

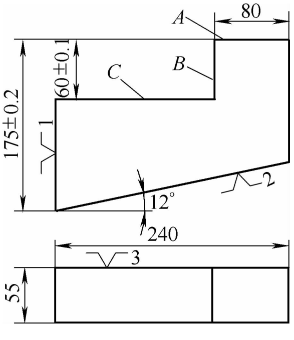


图 3-95 工件简图

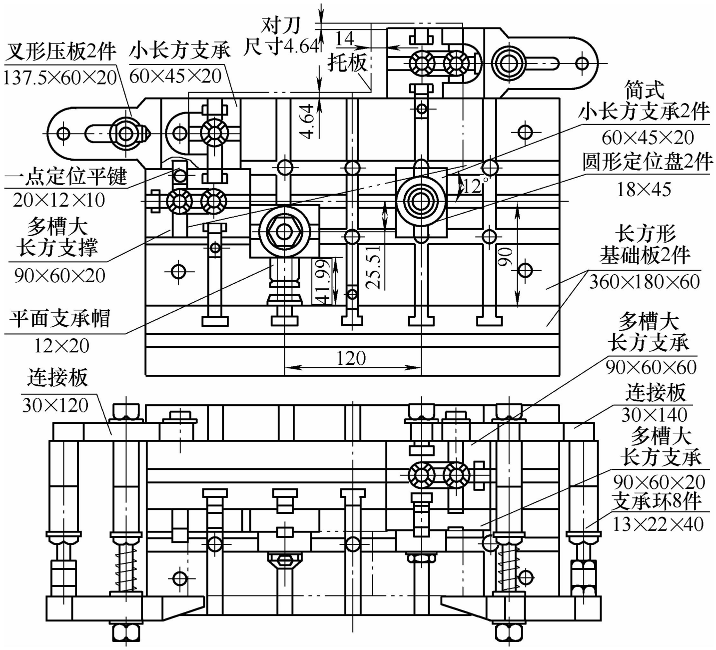


图 3-96 铣台阶平面组合夹具

第4章　常用量具与量仪

4.1　游标类量具

4.1.1　游标卡尺

游标卡尺是铣削加工广泛使用的量具，可以直接测量出工件的外表面、内表面、深度及长度等（见图4-1a）。

（1）游标卡尺的结构　游标卡尺的样式很多，图4-1a所示的三用游标卡尺、由尺身5和游标4组成。松开制动螺钉3，即可移动活动量爪2进行测量。上量爪用于测量工件的内表面（孔径或槽宽），下量爪用于测量工件的外表面（外径或长度），工件的深度用右侧的深度尺测量。

（2）游标卡尺的读数原理与方法　游标卡尺的游标读数值一般有0.1mm、0.05mm、0.02mm和0.01mm等4种。游标读数值是利用尺身与游标刻线间的距离之差来确定的。目前，最常用的0.02mm读数值游标卡尺的尺身每小格为1mm。游标尺刻线总长为49mm，均分为50格，每格为49mm/50=0.98mm，即尺身刻线与游标刻线一格之间的长度差为1mm-0.98mm=0.02mm，故读数值为0.02mm（见图4-1b）。在图4-1c中，游标零线在123mm与124mm之间，游标上的第11条刻线与尺身上的刻线对准，故被测尺寸的整数部分为123mm，小数部分为（11×0.02）mm=0.22mm，被测量尺寸为123mm+0.22mm=123.22mm。其他游标类量具，如深度游标卡尺、高度游标卡尺、齿厚游标卡尺等，读数原理与此相同。

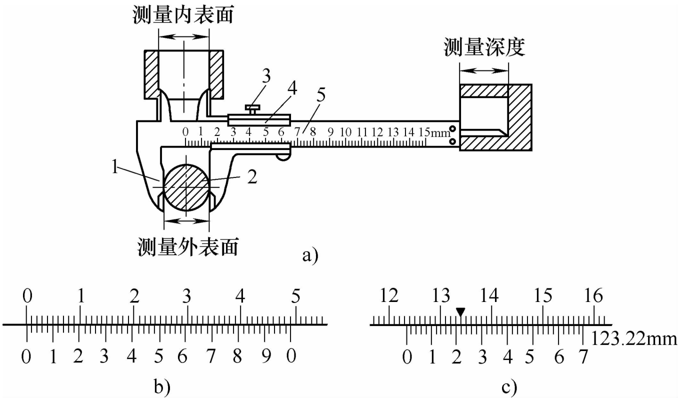


图4-1　游标卡尺及其读数方法

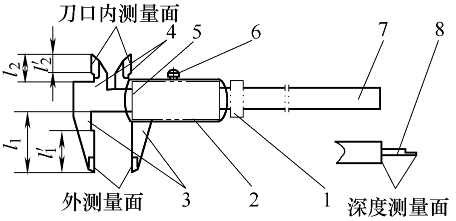
a）三用游标卡尺　b）读数一　c）读数二

1—固定量爪　2—活动量爪　3—制动螺钉　4—游标　5—尺身

（3）游标卡尺的型式与基本参数　游标卡尺的型式见图4-2。其中的Ⅰ型卡尺（见图4-2a）和Ⅱ型卡尺（见图4-2b）分带深度尺和不带深度尺两种。带深度尺的测量范围上限不宜超过300mm。游标卡尺的测量范围及基本参数的推荐值见表4-1。

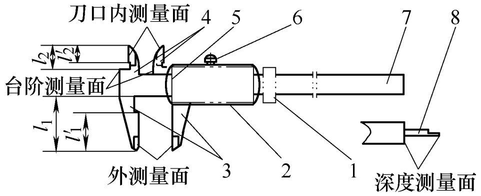
（4）带表卡尺　带表卡尺的型式与基本参数见表4-2。

（5）电子数显卡尺　电子数显卡尺的型式与基本参数见表4-3。



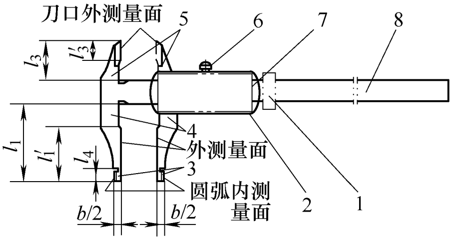
a)

1—微动装置　2—指示装置　3—外测量爪
4—刀口内测量爪　5—尺框　6—制动螺钉
7—尺身　8—深度尺



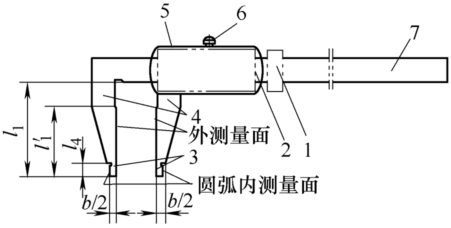
b)

1—微动装置　2—指示装置　3—外测量爪
4—刀口内测量爪　5—尺框　6—制动螺钉
7—尺身　8—深度尺



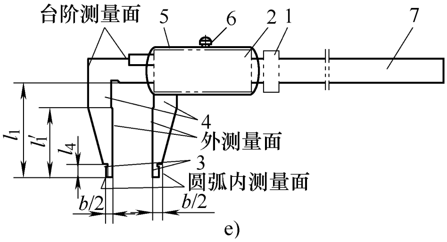
c)

1—微动装置　2—指示装置　3—圆弧内测量爪
4—外测量爪　5—刀口外测量爪　6—制动螺钉
7—尺框　8—尺身



d)

1—微动装置　2—指示装置　3—圆弧内测量爪
4—外测量爪　5—尺框　6—制动螺钉
7—尺身



e)

1—微动装置　2—指示装置　3—圆弧内测量爪　4—外测量爪
5—尺框　6—制动螺钉　7—尺身

图4-2　游标卡尺的型式

a）Ⅰ型卡尺（不带台阶测量面）　b）Ⅱ型卡尺（带台阶测量面）　c）Ⅲ型卡尺
d）Ⅳ型卡尺　e）Ⅴ型卡尺

表4-1　游标卡尺的测量范围及基本参数的推荐值　（单位：mm）

测量范围	基本参数（推荐值）							
	l_1[①]	l'_1	l_2	l'_2	l_3[①]	l'_3	l_4	b[②]
0～70	25	15	10	6	—	—	—	—
0～150	40	24	16	10	20	12	6	
0～200	50	30	18	12	28	18	8	10
0～300	65	40	22	14	36	22	10	
0～500	100	60	40	24	54	32	12（15）	10（20）

（续）

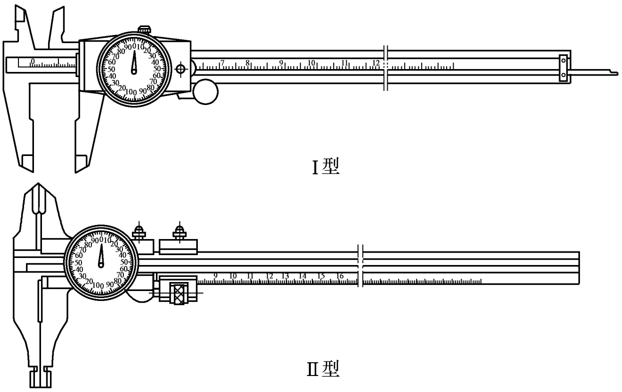
测量范围	基本参数（推荐值）							
	$l_1$①	l'_1	l_2	l'_2	$l_3$①	l'_3	l_4	b②
0～1000	130	80	48	30	64	38	18	20（30）
0～1500	150	90	56	34	74	45	20	
0～2000	200	120						
0～2500	250	150						
0～3000								
0～3500	260		—	—	—	—	35	40
0～4000								

注：表中各字母所代表的基本参数见图 4-2。

① 当外测量爪的伸出长度 l_1、l_3 大于表中推荐值时，其技术指标由供需双方技术协议确定。

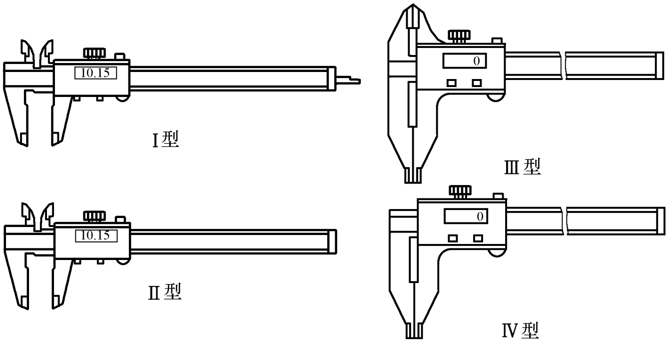
② 当 b = 20mm 时，l_4 = 15mm。

表 4-2 带表卡尺的型式与基本参数（GB/T 21389—2008） （单位：mm）



测量范围（Ⅰ型、Ⅱ型）	指示表分度值		
	0.01	0.02	0.05
	示值误差		
0～150	±0.02	±0.05	
0～200	±0.03		
0～300	±0.04	±0.08	

表 4-3 电子数显卡尺的型式与基本参数（GB/T 21389—2008） （单位：mm）



（续）

型　　式	测量范围	示值误差	
		测量长度	误差值
Ⅰ	0～150，0～200	0～200	±0.03
Ⅱ、Ⅲ	0～200，0～300	>200～300	±0.04
Ⅳ	0～500	>300～500	±0.05

（6）游标卡尺的使用及注意事项　游标卡尺用于测量工件的外表面尺寸、内表面尺寸和深度。游标卡尺的使用示例见图 4-3。测量时，应注意以下事项：

1）使用前，应先检查与校对其零位。方法是将量爪紧密贴合，观察有无明显光隙，同时注意游标与主尺的零刻度线是否对准。

2）松开游标上的制动螺钉，移动活动量爪测得所需尺寸后，应拧紧制动螺钉读出尺寸，以防止测得的尺寸发生变动。

3）使用游标卡尺时，应注意掌握测量力，应使量爪与工件表面逐渐靠近，最后达到轻微接触。有微动装置的卡尺，应使用微动装置。

4）测量外尺寸时，使卡尺量爪间距离略大于被测尺寸，把固定量爪与工件贴合，再轻推尺框使活动量爪贴合工件，稍动一下活动量爪，找出最小值，即为被测尺寸。

5）测量内尺寸时，使量爪间距离小于被测孔尺寸，把量爪沿孔中心放入孔内，先将固定量爪接触孔壁，再移动活动量爪框，找出量爪间距的最大值，即为被测尺寸。

6）测量深度尺寸时，应以卡尺端面为基准，使尺身端面紧贴被测孔或槽顶端面，这样，深度尺与工件端面垂直，然后移动尺框，当手感到已接触到孔或槽的底面时，进行读数，即为被测尺寸。

7）不可在旋转的工件或毛坯等粗糙的表面上测量，用完后应将卡尺擦净，上油保存。

（7）游标卡尺的选用　根据工件的精度等级选用游标卡尺，见表 4-4。

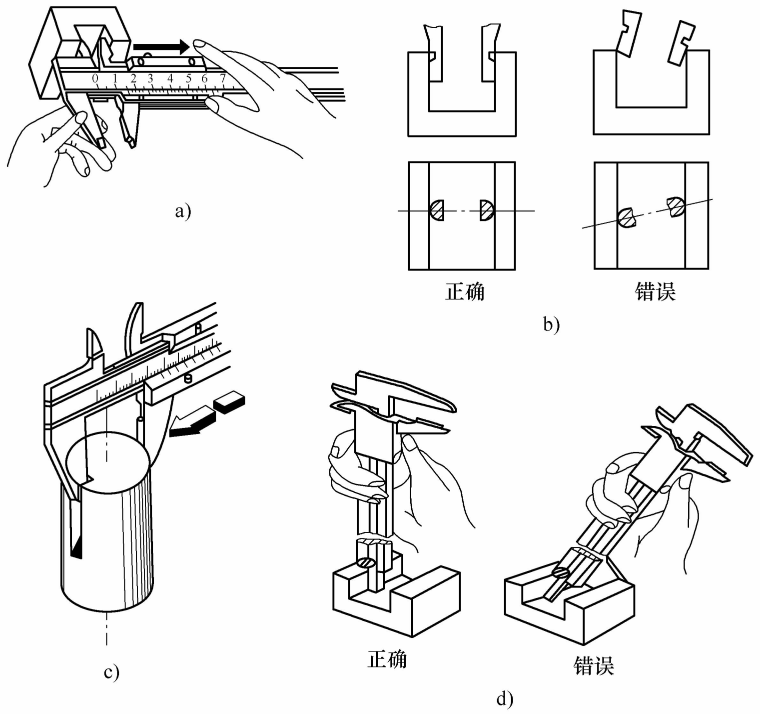


图 4-3　游标卡尺的使用示例

a）测量直角沟槽宽度　b）测量直角沟槽宽度时的量爪位置　c）测量键槽槽底至下素线的尺寸　d）测量槽深

表 4-4 选用游标卡尺的选用参考表

游标分度值/mm	工件精度等级
0.02	IT11 ~ IT16
0.05	IT12 ~ IT16
0.1	IT14 ~ IT16

4.1.2 高度卡尺

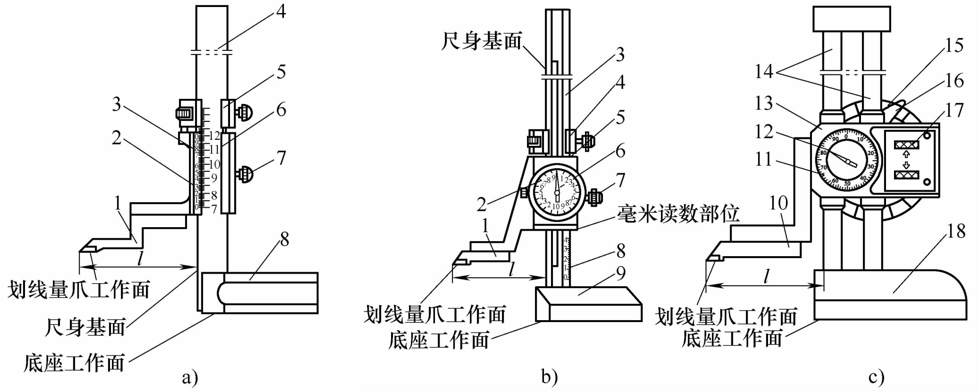
高度卡尺用于测量工件的高度及精密画线，其型式见图 4-4，测量范围及基本参数见表 4-5。其分度值有 0.01mm、0.02mm、0.05mm 和 0.10mm，测量范围从 0 ~ 150mm 到 0 ~ 1000mm。

表 4-5 高度卡尺的测量范围及基本参数

（单位：mm）

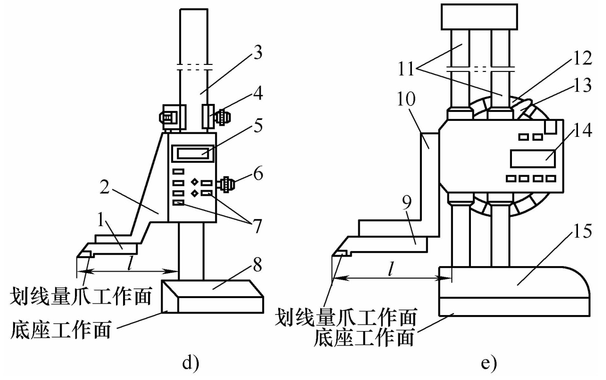
测量范围上限	基本参数 l[①]（推荐值）
~150	45
>150 ~ 400	65
>400 ~ 600	100
>600 ~ 1000	130

① 当 l 的长度超过表中推荐值时，其技术指标由供需双方技术协议确定。



1—划线量爪 2—游标尺 3—主标尺 4—尺身 5—微动装置 6—尺框 7—制动螺钉 8—底座

1、10—划线量爪 2、11—圆标尺 3—尺身 4—微动装置 5、13—尺框 6、12—指针 7—制动螺钉 8—主标尺 9、18—底座 14—尺身（立柱） 15—手轮 16—锁紧手柄 17—计数器



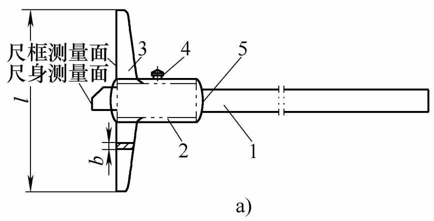
1、9—划线量爪 2、10—尺框 3—尺身 4—微动装置 5、14—电子数显器 6—制动螺钉 7—功能按钮 8、15—底座 11—尺身（立柱） 12—手轮 13—锁紧手杯

图 4-4 高度卡尺的型式

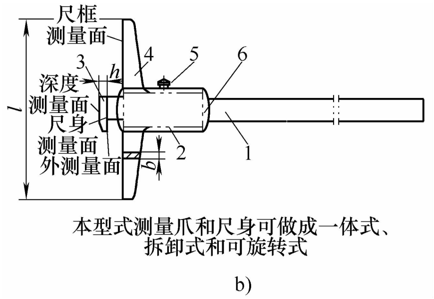
a）游标高度卡尺 b）Ⅰ型带表高度卡尺 c）Ⅱ型带表高度卡尺 d）Ⅰ型数显高度卡尺 e）Ⅱ型数显高度卡尺

4.1.3 深度卡尺

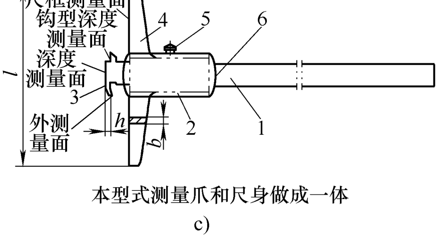
深度卡尺用于测量工件上阶梯形、沟槽和不通孔的深度，其型式见图4-5。图4-6所示为深度卡尺的指示装置示意图。深度卡尺的分度值为0.01mm、0.02mm、0.05mm和0.1mm。深度卡尺的测量范围及基本参数推荐值见表4-6。



1—尺身 2—尺框 3—尺框测量爪
4—制动螺钉 5—指示装置



1—尺身 2—尺框 3—测量爪 4—尺框测量爪 5—制动螺钉 6—指示装置



1—尺身 2—尺框 3—测量爪 4—尺框测量爪
5—制动螺钉 6—指示装置

图4-5 深度卡尺的型式

a) Ⅰ型深度卡尺 b) Ⅱ型深度卡尺（单钩型）
c) Ⅲ型深度卡尺（双钩型）

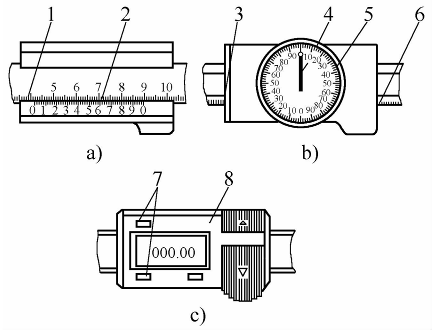


图4-6 深度卡尺的指示装置示意图

a) 游标深度卡尺的指示装置 b) 带表深度卡尺的指示装置 c) 数显深度卡尺的指示装置
1—主标尺 2—游标尺 3—毫米读数部位 4—指针 5—圆标尺 6—主标尺 7—功能按钮 8—电子数显器

表4-6 深度卡尺的测量范围及基本参数推荐值

测量范围	基本参数（推荐值）	
	尺框测量面长度 l	尺框测量面宽度 b
	≥	
0～100、0～150	80	5
0～200、0～300	100	6
0～500	120	6
0～1000	150	7

4.1.4 齿厚卡尺

齿厚卡尺的型式和指示装置分别见图4-7、图4-8。其测量齿轮模数范围为1～16mm、1～26mm、5～32mm、15～55mm，分度值为0.01mm和0.02mm。

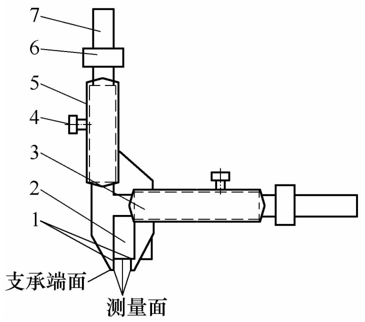


图4-7 齿厚卡尺的型式

1—测量爪 2—齿高尺 3—齿厚尺尺框 4—紧固螺钉 5—齿高尺尺框 6—微动装置 7—主尺

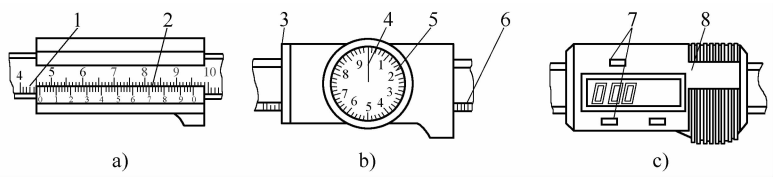


图 4-8　齿厚卡尺的指示装置

a）游标齿厚卡尺　b）带表齿厚卡尺　c）数显齿厚卡尺

1—主标尺　2—游标尺　3—毫米读数部位　4—指针　5—圆标尺

6—主标尺　7—功能按钮　8—电子数显器

4.2　螺旋测微量具

4.2.1　外径千分尺

千分尺是典型的螺旋测微量具。它的测量精度比游标卡尺高，因而常用于机械制造中的精密测量。图 4-9a 所示为外径千分尺的结构，其他螺旋类量具的工作原理和读数方法与其相似。外径千分尺的工作原理是螺旋副将角位移转变为直线位移。测微螺杆旋转一周，其轴向移动一个螺距（0.5mm）。在千分尺的活动套管上刻有 50 格，每格即为 0.5mm/50 = 0.01mm。测量时，将固定套管的刻度值（毫米和半毫米数）与活动套管上的刻度值（数值 = 0.01mm × 活动套管与固定套管对应格数）相加，即为测量结果（见图 4-9b）。在使用外径千分尺时，应将量具的测量面擦拭干净，校正零位；工件的测量面也应擦净，并准确置于千分尺的测量面间，不得偏斜。测量时，左手握住尺架的绝热片的部位，右手转动活动套管 6，当测量面接近工件表面时，必须旋转测力装置 10（此时禁止使用活动套管 6，防止用力过度导致测量不准），直到棘轮发出“咔咔”声响为止。经检查与工件接触良好后，可直接读数，也可扳动锁紧机构 11，将测微螺杆 3 固定后取下读数。但是，绝不能先锁紧螺杆，后用力卡过工件，否则将会导致螺杆弯曲及测量面磨损。此外，千分尺也不能用来测量毛坯及正在旋转的工件表面。

外径千分尺的规格见表 4-7。

外径千分尺也有多种结构形式，图 4-10 所示为杠杆千分尺，其规格见表 4-8。

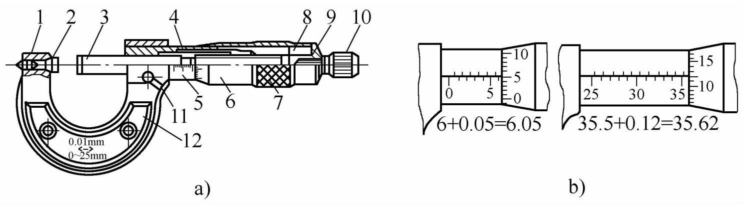


图 4-9　外径千分尺

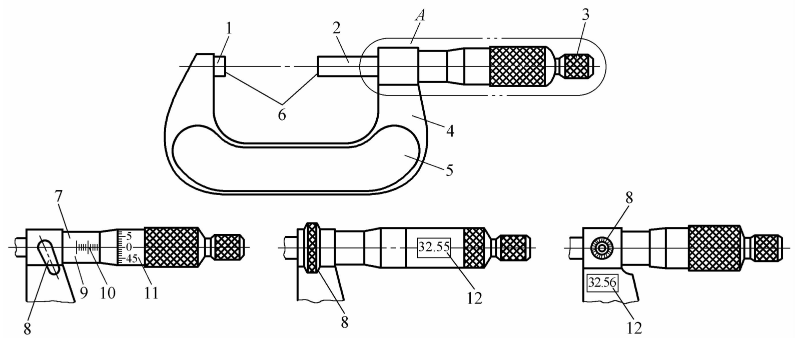
a）外径千分尺的结构　b）读数

1—尺架　2—固定测座　3—测微螺杆　4—螺纹轴套　5—固定套管

6—活动套管　7—调节螺母　8—接头　9—垫片

10—测力装置　11—锁紧机构　12—绝热片

表 4-7 外径千分尺的规格(GB/T 1216—2004)



A部详图

1—测砧 2—测微螺杆 3—棘轮 4—尺架 5—隔热装置 6—测量面 7—模拟显示
8—测微螺杆锁紧装置 9—固定套管 10—基准线 11—微分筒 12—数值显示

测量范围/mm	最大允许误差	两测量面平行度公差	测量范围/mm	最大允许误差	两测量面平行度公差
	μm			μm	
0~25，25~50	4	2	400~425，425~450	12	11
50~75，75~100	5	3	450~475，475~500	13	
100~125，125~150	6	4	500~600	14	12
150~175，175~200	7	5	600~700	16	14
200~225，225~250	8	6	700~800	18	16
250~275，275~300	9	7	800~900	20	18
300~325，325~350	10	9	900~1000	22	20
350~375，375~400	11				

注：1. 本标准规定包括外径千分尺及带计数器外径千分尺两种。
2. 外径千分尺可制成可调式或可换式测砧。

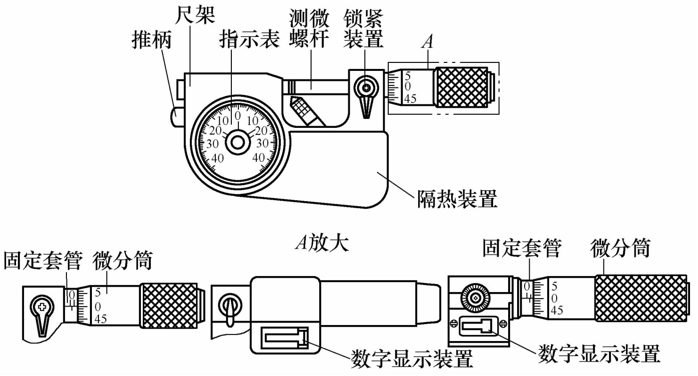


图 4-10 杠杆千分尺

表 4-8 杠杆千分尺的规格
(摘自 GB/T 8061—2004)

测量范围/mm	示值误差/μm
0~25、25~50	3
50~75、75~100	4

注：本标准规定包括杠杆千分尺及带计数器杠杆千分尺两种。

图 4-11 所示为测砧可调式的大千分尺，图 4-12 所示为测砧带表式的大千分尺。这两种大外径千分尺的规格见表 4-9。

测量精度不同的工件时，应选用相应精度的外径千分尺。通常，被测工件精度为 IT6 ~ IT7 时，应选用 0 级精度的千分尺；而被测工

表 4-9 大外径千分尺的规格（摘自 JB/T 10007—1999）

形式	测量范围	示值误差	两测量面的平行度	尺架受 12N 力时的变形
	mm	μm		
测砧为可调式的大千分尺	1000 ~ 1200	22	22	24
	1200 ~ 1400	26	25	28
	1400 ~ 1600	30	28	32
	1600 ~ 1800	34	31	36
	1800 ~ 2000	38	34	40
	2000 ~ 2200	42	36	44
	2200 ~ 2400	46	40	48
	2400 ~ 2600	50	44	52
	2600 ~ 2800	54	48	56
	2800 ~ 3000	58	52	60
测砧为带表式的大千分尺	1000 ~ 1500	28	26	30
	1500 ~ 2000	38	34	40
	2000 ~ 2500	48	42	50
	2500 ~ 3000	58	52	60

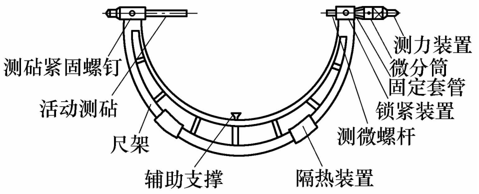


图 4-11 测砧为可调式的大千分尺

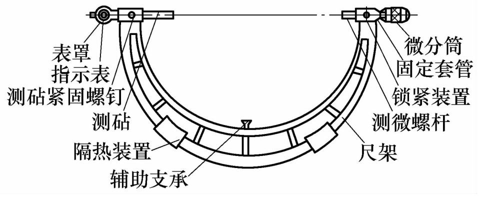


图 4-12 测砧为带表式的大千分尺

件精度为 IT7 ~ IT9 时，则可选用 1 级精度的千分尺。

用千分尺测量工件时，应尽可能使被测工件的温度与千分尺的温度保持一致，特别在测量大尺寸工件时更应如此。用千分尺测量时，被测工件对标准温度的允许偏差见表 4-10。

表 4-10 被测工件对标准温度的允许偏差

外径千分尺精度级别	被测工件尺寸范围/mm			
	0 ~ 18	>18 ~ 50	>50 ~ 120	>120 ~ 150
	对标准温度（20℃）的允许偏差/（℃）			
0 级	±8	±6	±4	±3
1 级	±8	±8	±6	±5

4.2.2 两点内径千分尺

两点内径千分尺有单杆型（管状）、管接式和换管型等。单杆型是不可接拆的，管接式是可接拆的，换管型也可接拆，带接长杆的内径千分尺见图 4-13 所示。

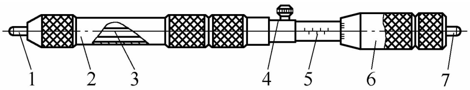


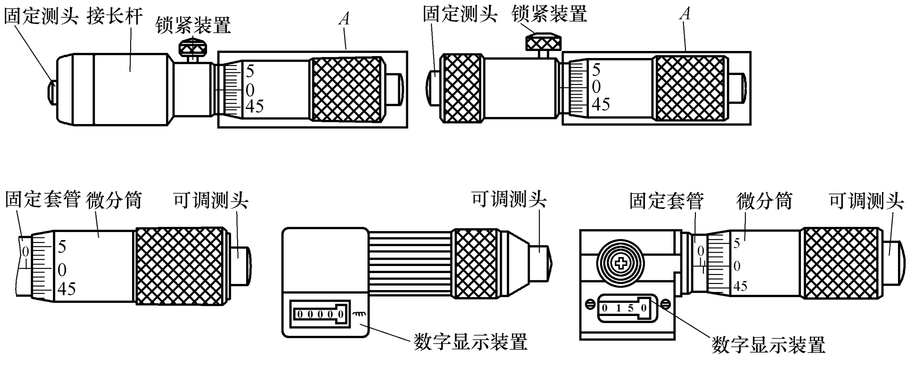
图 4-13 带接长杆的内径千分尺

1—测量头 2—接长杆 3—心杆 4—锁紧装置 5—固定套管 6—微分筒 7—测微头

两点内径千分尺常用来测量精密工件的内径尺寸。使用前，必须用校对卡规校对微分头零位；如零位不正确，应进行调整。

两点内径千分尺的规格见表 4-11。内径千分尺主要用于测量工件内径，也可用来测量槽宽和两个表面之间的距离。

表 4-11　两点内径千分尺的规格(GB/T 8177—2004)



A部详图

主要规格 /mm	测量长度 l/mm	最大允许误差 /μm	主要规格 /mm	测量长度 l/mm	最大允许误差 /μm
5～250，50～600，100～1225，100～1500，100～5000，150～1250，150～1400，150～2000，150～3000，150～4000，150～5000，250～2000，250～4000，250～5000，1000～3000，1000～4000，1000～5000，2500～5000	$l \leqslant 50$	4	5～250，50～600，100～1225，100～1500，100～5000，150～1250，150～1400，150～2000，150～3000，150～4000，150～5000，250～2000，250～4000，250～5000，1000～3000，1000～4000，1000～5000，2500～5000	$450 < l \leqslant 500$	13
	$50 < l \leqslant 100$	5		$500 < l \leqslant 800$	16
	$100 < l \leqslant 150$	6		$800 < l \leqslant 1250$	22
	$150 < l \leqslant 200$	7		$1250 < l \leqslant 1600$	27
	$200 < l \leqslant 250$	8		$1600 < l \leqslant 2000$	32
	$250 < l \leqslant 300$	9		$2000 < l \leqslant 2500$	40
	$300 < l \leqslant 350$	10		$2500 < l \leqslant 3000$	50
	$350 < l \leqslant 400$	11		$3000 < l \leqslant 4000$	60
	$400 < l \leqslant 450$	12		$4000 < l \leqslant 5000$	72

注：本标准规定包括两点内径千分尺及带计数器两点内径千分尺两种。

4.2.3　内测千分尺

内测千分尺用于孔径的测量(见图4-14)，其测量范围与示值误差见表4-12。

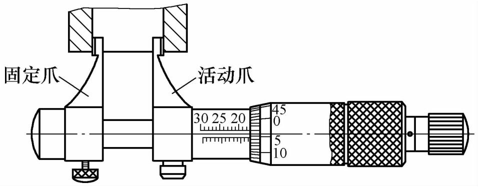


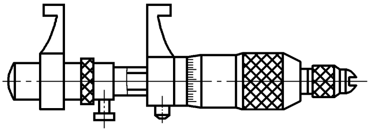
图 4-14　内测千分尺

4.2.4　三爪内径千分尺

三爪内径千分尺的测量范围与示值误差见表4-13。

表 4-12 内测千分尺的测量范围与示值误差(JB/T 10006—1999)

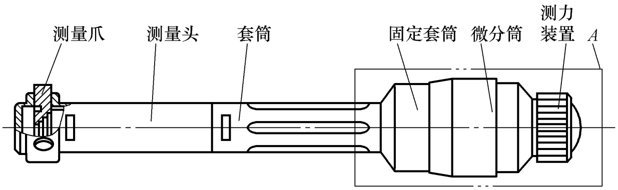
(单位：mm)



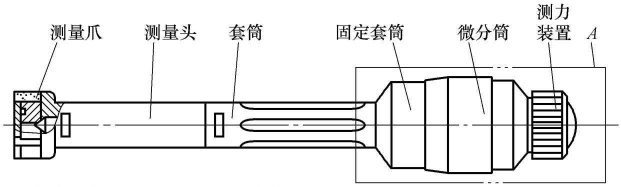
测量范围	示值误差	测量范围	示值误差
5～30	0.007	75～100	0.010
25～50	0.008	100～125	0.011
50～75	0.009	125～150	0.012

表 4-13 三爪内径千分尺的测量范围与示值误差(GB/T 6314—2004)

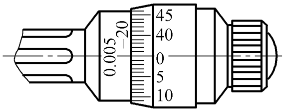
(单位：mm)

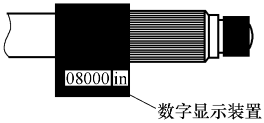


(Ⅰ型)适用于通孔的三爪内径千分尺



(Ⅱ型)适用于通孔、不通孔的三爪内径千分尺





A部详图

形式	测量范围
Ⅰ型	6～8、8～10、10～12、11～14、14～17、17～20、20～25、25～30、30～35、35～40、40～50、50～60、60～70、70～80、80～90、90～100
Ⅱ型	3.5～4.5、4.5～5.5、5.5～6.5、8～10、10～12、11～14、14～17、17～20、20～25、25～30、30～35、35～40、40～50、50～60、60～70、70～80、80～90、90～100、100～125、125～150、150～175、175～200、200～225、225～250、250～275、275～300

测量上限 l_{max}	最大允许误差
$3.5 < l_{max} \leqslant 40$	0.004
$40 < l_{max} \leqslant 100$	0.005
$100 < l_{max} \leqslant 300$	0.008

注：本标准规定包括三爪内径千分尺及带计数器三爪内径千分尺两种。

4.2.5 板厚千分尺

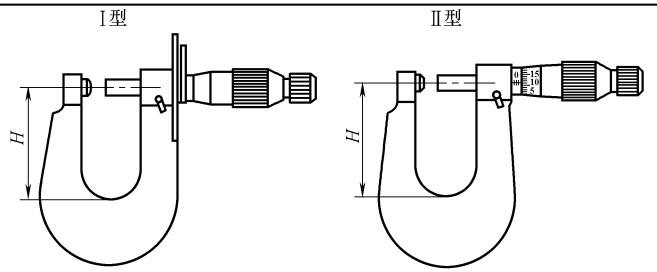
板厚千分尺的型式、测量范围与示值误差见表 4-14。

4.2.6 壁厚千分尺

壁厚千分尺可用来测量薄壁件的厚度(见图 4-15)，还可以通过测量套筒类零件不

表 4-14 板厚千分尺的型式、测量范围与示值误差(JB/T 2989—1999)

(单位:mm)



型　　式	测 量 范 围	示 值 误 差	
		1 级	2 级
Ⅰ型	0 ~ 10、0 ~ 15、0 ~ 25	±0.004	±0.008
Ⅱ型	0 ~ 25		

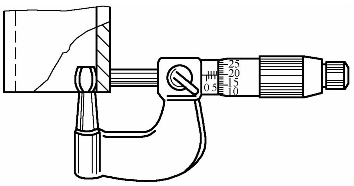
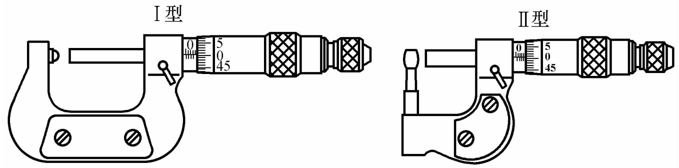


图 4-15 壁厚千分尺

同位置上的壁厚来检测出该零件的同轴度。显然，在直径相对应位置的壁厚差值的一半，即为该零件的同轴度误差。壁厚千分尺的活动测微螺杆的测量面为平面，而固定测砧的测量面为球形（Ⅰ型）或鼓形（Ⅱ型），其分度值为 0.01mm。壁厚千分尺的型式、测量范围和示值误差见表 4-15。

表 4-15 壁厚千分尺的型式、测量范围与示值误差(GB/T 6312—2004)

(单位:mm)

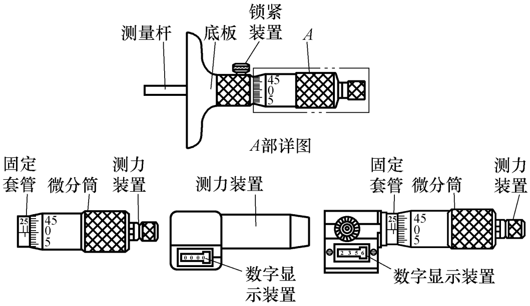


型　　式	测 量 范 围	示 值 误 差	用途
Ⅰ	0 ~ 25	0.004	适用于测量薄壁件的厚度
Ⅱ	0 ~ 25	0.008	

4.2.7 深度千分尺

深度千分尺的测量范围与示值误差见表 4-16。

表 4-16 深度千分尺的测量范围与示值误差（GB/T 1218—2004）



4.2.8 公法线千分尺

公法线千分尺常用于齿轮公法线长度的检

（续）

测量范围/mm	示值误差/μm	测量范围/mm	示值误差/μm
0～25	4	0～200	8
0～50	5	0～250	9
0～100	6	0～300	10
0～150	7		

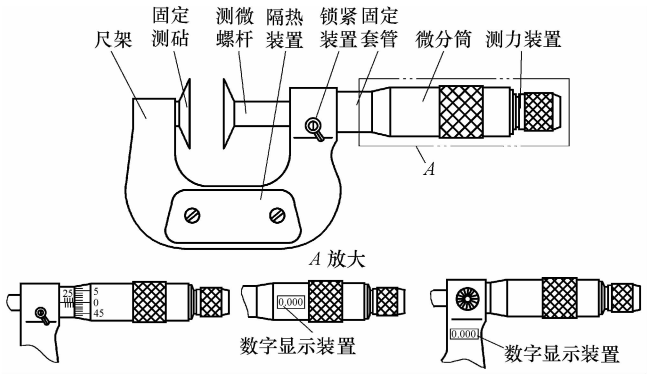
注：本标准规定包括深度千分尺及带计数器深度千分尺两种。

测，其结构与规格见表4-17。

4.2.9 螺纹千分尺

螺纹千分尺（见图4-16）的结构原理和外径千分尺相似，所不同的是螺纹千分尺的测砧和测微螺杆各有一个小孔，可插入各对不同规格的测头。为便于零位的调整，测砧做成可调节式的。螺纹千分尺常见的测头见图4-17。

表4-17 公法线千分尺的结构与规格（GB/T 1217—2004）



测量范围/mm	最大允许误差/μm	两测量面平行度/μm
0～25，25～50	4	4
50～75，75～100	5	5
100～125，125～150	6	6
150～175，175～200	7	7

注：本标准规定包括公法线千分尺及带计数器公法线千分尺两种。

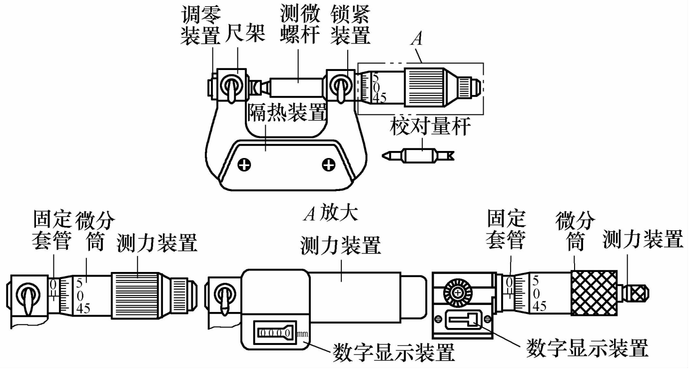


图4-16 螺纹千分尺

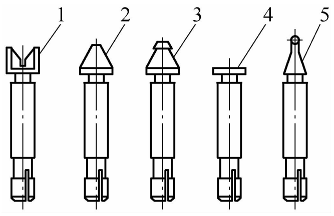


图 4-17 螺纹千分尺常见的测头

1—V 形测头 2—锥形测头 3—短的锥形测头 4—平测头 5—球形测头

螺纹千分尺的 V 形和锥形测头的适用范围见表 4-18。

表 4-18 螺纹千分尺的 V 形和锥形测头的适用范围

测头的标志	1M	2M	3M
适用测量的螺距范围/mm	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 1.0	1.0 ~ 1.75
测头的标志	4M	5M	6M
适用测量的螺距范围/mm	1.75 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0	5.0 ~ 7.5

螺纹千分尺的规格和用途见表 4-19。此外，螺纹千分尺也可用来测量外啮合圆柱齿轮的底径尺寸。

表 4-19 螺纹千分尺的规格和用途（GB/T 10932—2004）

测量范围/mm	测头对数	被测螺距/mm	示值误差/mm	用途
0 ~ 25	5	0.4 ~ 3.5	±0.004	常用于测量螺纹中径
25 ~ 50	5	0.6 ~ 6	±0.004	
50 ~ 75、75 ~ 100	4	1 ~ 6	±0.005	
100 ~ 125、125 ~ 150	3	1.5 ~ 6	±0.005	

注：本标准规定包括螺纹千分尺及带计数器螺纹千分尺两种。

4.3 机械式测微仪

4.3.1 指示表

指示表的规格及示值误差见表 4-20。

4.3.2 杠杆指示表

杠杆指示表的规格及示值误差见表 4-21。

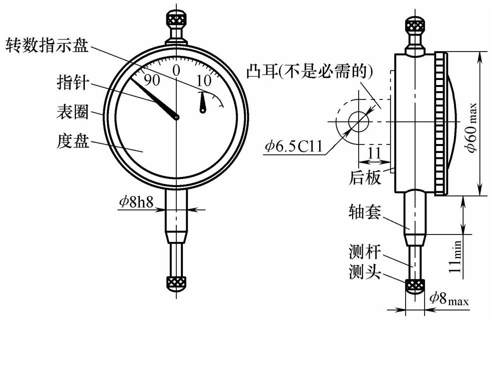
4.3.3 内径指示表

内径指示表的规格见表 4-22。

4.3.4 大量程指示表

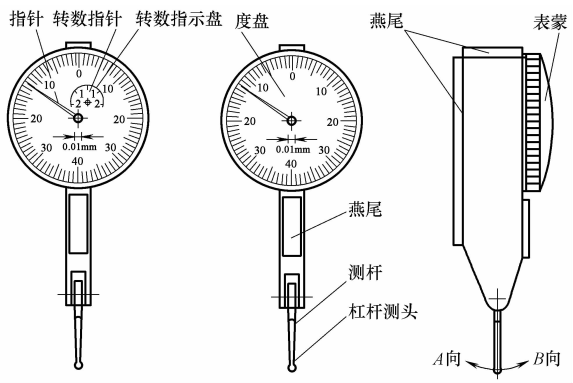
大量程指示表的规格见表 4-23。

表 4-20 指示表的规格及示值误差（GB/T 1219—2008） （单位：mm）



测量范围	分度值	最大允许误差/μm	回程误差不大于/μm
0 ~ 20	0.01	2.0	1.0
0 ~ 100		3.5	1.5
0 ~ 3	0.002	1.5	0.5
0 ~ 10		2.0	1.0
0 ~ 1	0.001	1.0	0.5
0 ~ 5		1.5	0.5

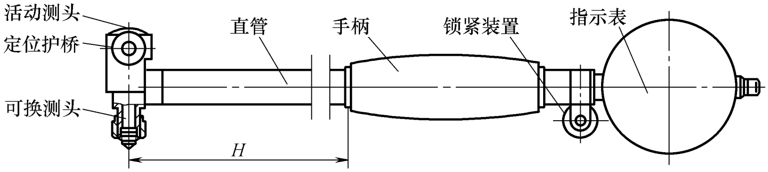
表 4-21 杠杆指示表的规格及示值误差 （单位：mm）



分度值	量程	最大允许误差					回程误差	重复性
		任意 5 个标尺标记	任意 10 个标尺标记	任意 1/2 量程（单向）	单向量程	双向量程		
0.01	0.8	±0.004	±0.005	±0.008	±0.010	±0.013	0.003	0.003
	1.6			±0.010	±0.020	±0.023		
0.002	0.2	—	±0.002	±0.003	±0.004	±0.006	0.002	0.001
0.001	0.12	—	±0.002	±0.003	±0.003	±0.005		

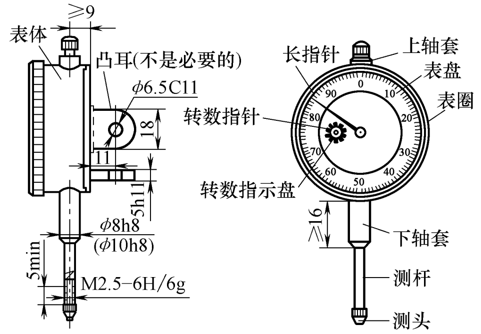
注：1. 在量程内，任意状态下（任意方位、任意位置）的杠杆指示表均应符合表中的规定。
2. 杠杆指示表的示值误差判定，适用浮动零位的原则（即：示值误差的带宽不应超过表中最大允许误差“±”符号后面对应的规定值）。

表 4-22 内径指示表的规格 （单位：mm）



分度值	测量范围	活动测量头的工作行程	最大允许误差
0.01	6 ~ 10	≥0.6	±0.012
	10 ~ 18	≥0.8	
	18 ~ 35	≥1.0	±0.015
	35 ~ 50	≥1.2	
	50 ~ 100	≥1.6	±0.018
	100 ~ 160		
	160 ~ 250		
	250 ~ 450		
0.001	6 ~ 10	≥0.6	±0.005
	10 ~ 18	≥0.8	±0.006
	18 ~ 35		
	35 ~ 50		
	50 ~ 100		±0.007
	100 ~ 160		
	160 ~ 250		
	250 ~ 450		

表 4-23　大量程指示表的规格　　（单位：mm）



测量范围	分度值	示值总误差	示值变动性
0 ~ 30	0. 01	0. 030	0. 005
0 ~ 50		0. 040	
0 ~ 100		0. 050	

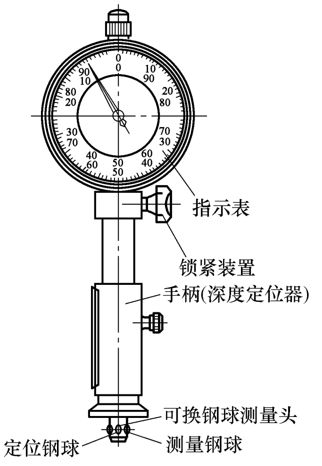
4. 3. 5　钢球式内径指示表

钢球式内径指示表的规格见表 4-24。

4. 3. 6　涨簧式内径指示表

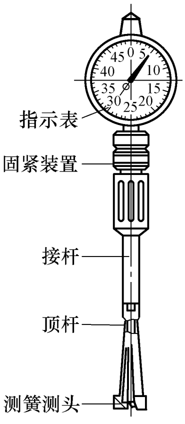
涨簧式内径指示表的规格见表 4-25。

表 4-24　钢球式内径指示表的规格



测量范围/mm	测头量程/mm	示值总误差/μm
3 ~ 4	0. 3	8
4 ~ 10	0. 6	10
10 ~ 18	1	12

表 4-25　涨簧式内径指示表的规格



测量范围/mm	测头量程/mm	示值总误差/μm
3 ~ 4	0. 3	10
4 ~ 10	0. 6	12
10 ~ 20	1. 2	15

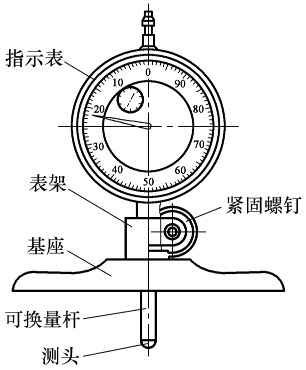
4.3.7 深度指示表

深度指示表的规格见表4-26。

4.3.8 指示表的结构原理与使用

1）各种指示表常与指示表架、高度划线尺等联合使用，测量工件的尺寸、形状和位置误差。图4-18所示为指示表的结构和原理图，其传动系统由齿轮和齿条组成。当测量杆上升时，带动小齿轮 z_2 转动，与 z_2 同轴的齿轮 z_3 及指针也一起转动。当测量杆上升1mm时，指针正好转过100格，则其刻度值为(1/100)mm = 0.01mm。

表4-26 深度指示表的规格 （单位：mm）

	可换量杆分组及测量范围	示值误差
	0 ~ 10，10 ~ 20，20 ~ 30，30 ~ 40，40 ~ 50，50 ~ 60，60 ~ 70，70 ~ 80，80 ~ 90，90 ~ 100	±0.012

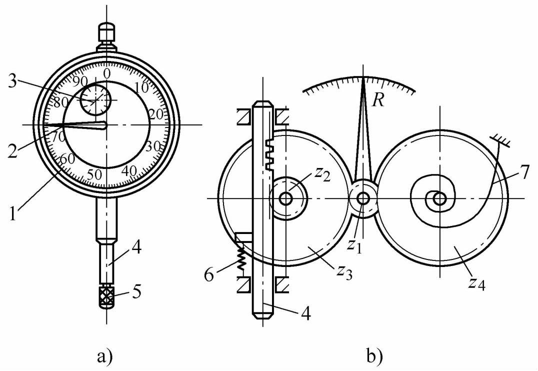


图4-18 指示表的结构和原理图

a）指示表的结构 b）指示表的原理图

1—表盘 2—大指针 3—小指针 4—测量杆 5—测量头 6—弹簧 7—游丝

2）应根据被测工件的精度等级。合理选用指示表。通常，分度值为0.01mm的指示表，适于测量工件精度的范围为IT6 ~ IT9；而分度值为0.001mm的指示表，测量工件的精度范围为IT5 ~ IT6。

3）指示表应牢固地装在表架上，夹紧力不宜过大，以免使装夹套筒变形而卡住测杆，故需检查测杆移动是否灵活。测量前，还需检查指示表是否既夹牢又不影响灵敏度，为此可检查其重复性，在重复性良好时，再进行测量。

4）测杆应与被测表面垂直（见图4-19）。测量圆柱形工件时，测杆轴线应与工件直径方向一致。

5）测量时，应轻轻提起测杆，把工件移至测头下面，缓慢地下降测头与工件接触，避免产生瞬时冲击测量力，带来测量误差。

6）可根据不同形状的工件，选用不同形状的测头。例如用球测头测量平面或圆柱形工件；用平测头测量球形工件；用尖测头或小球

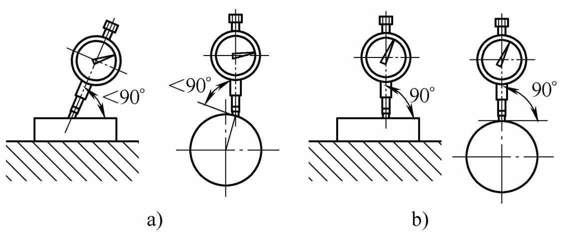


图4-19　指示表的正确使用

a）不正确　b）正确

面测头测量凹面或形状复杂的工件；测量薄形工件的厚度时，要正、反方向测量，取最小值为测量结果。

7）杠杆指示表是将测量杠杆的摆动转换为指示回转运动的量仪。图4-20所示为正面式杠杆指示表，当杠杆测头5位移时，带动扇形齿轮4绕其轴线摆动，使与其啮合的齿轮1转动，从而带动与齿轮同轴的指针偏转。杠杆指示表的分度值为0.01mm，即当杠杆测头位移0.01mm时，传动机构使指示表上指针正好偏转1格。图4-21a、b所示为用杠杆指示表测量零件位置精度的实例。用杠杆指示表借助标准平板测量台阶侧面对工作宽度的对称度（见图4-21a），及测量槽宽对工件两侧面的对称度时，应采用工件翻身法进行对比测量（见图4-21b）。必须指出，杠杆指示表的测杆轴线与工件表面的角度 α 不宜过大，α 角度小时，其测量误差减小（见图4-22）。

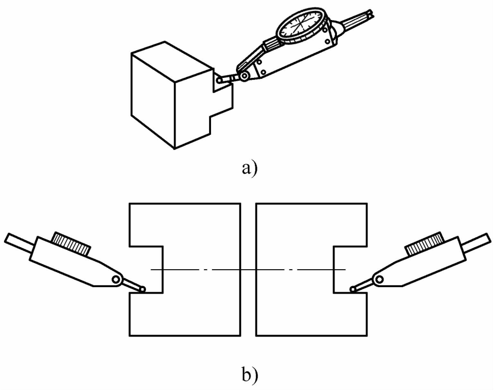


图4-21　用杠杆指示表测量零件位置精度的实例

a）测量台阶侧面对工作宽度的对称度

b）测量槽宽对工件两侧面的对称度

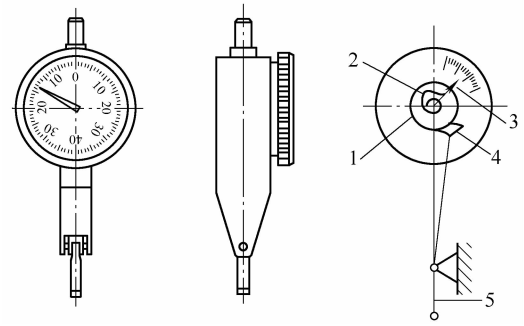


图4-20　正面式杠杆指示表

1—齿轮　2—游丝　3—指针

4—扇形齿轮　5—杠杆测头

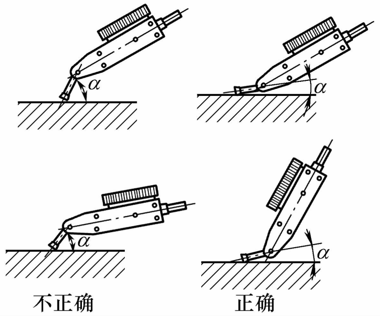


图4-22　杠杆指示表测杆轴的角度

8）图4-23a所示为带定位护桥的内径指示表（分度值为0.01mm），它由指示表和表架组成。表架为管状结构，内装杠杆等传动机构，能把测量头的直线位移转换成指示表表面上指针的角位移。测量时，活动测量头1的移动使等臂杠杆8转动，通过推杆5推动指示表7的测量杆，使指示表的指针偏转。由于等臂杠杆8是等臂的，因此活动测量头、推杆以及指示表的测量杆三者的移动量是相等的，即当活动测量头移动1mm时，指示表的测量杆也移动1mm，推动指示表7的指针转一圈，因而活动测量头的移动量可以在指示表上读出来。

定位护桥 9 起找正工件孔径位置的作用。用指示表对孔的几何形状精度检验，主要有圆度和圆柱度的检验，可用量具在孔的圆周上各个方向测量 3～4 次，把测量的结果进行比较，就可确定孔的圆度是否符合要求；而用量具沿孔的轴线方向测出几点，比较其读数，即可知道孔的圆柱度误差是否在允许的范围内。用内径百分表配合标准卡规或外径千分尺进行测量，既可测量孔径，又可测量孔的圆度、圆柱度误差。在测量时，为了测得准确尺寸，必须摆动内径指示表（见图 4-23b），所得的最小尺寸就是孔的实际尺寸。

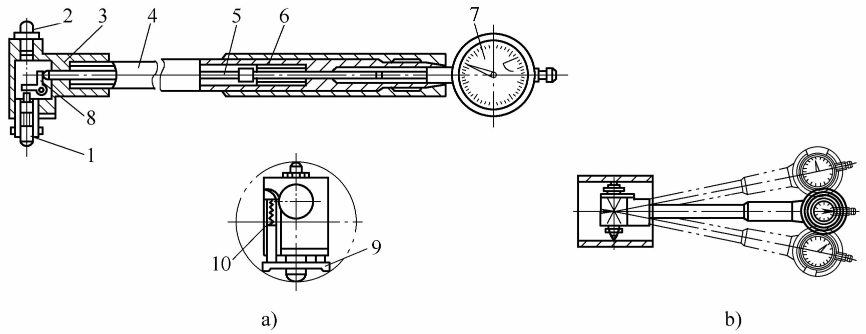


图 4-23 内径指示表及其应用

a）带定位护桥的内径指示表 b）内径指示表的测量方法

1—活动测量头 2—固定测量头 3—壳体 4—长臂 5—推杆

6、10—弹簧 7—指示表 8—等臂杠杆 9—定位护桥

4.4 角度量具

4.4.1 正弦规

正弦规（见图 4-24）由精密的长方形主体 4 和圆柱体 3 组成。两个等直径的圆柱体，其中心连线与主体的平面平行。测量时，正弦规应置于平板上，由图 4-24b 可见，圆柱的一端用量规组垫高，用指示表进行检测。当被测工件表面和平板平行后，可根据正弦规的中心距 L 和量块组高度 H，用下式计算出测量角度

$$\sin\alpha = \frac{H}{L}$$

式中 α——工件斜面的倾斜角度（°）；

L——正弦规的中心距（mm）；

H——量块组的高度尺寸（mm）。

正弦规可测量内、外锥体的尺寸和校正水平仪等，是测量精密工件及量规角度的量具。

正弦规分窄型和宽型两种，其结构及基本参数见表 4-27。

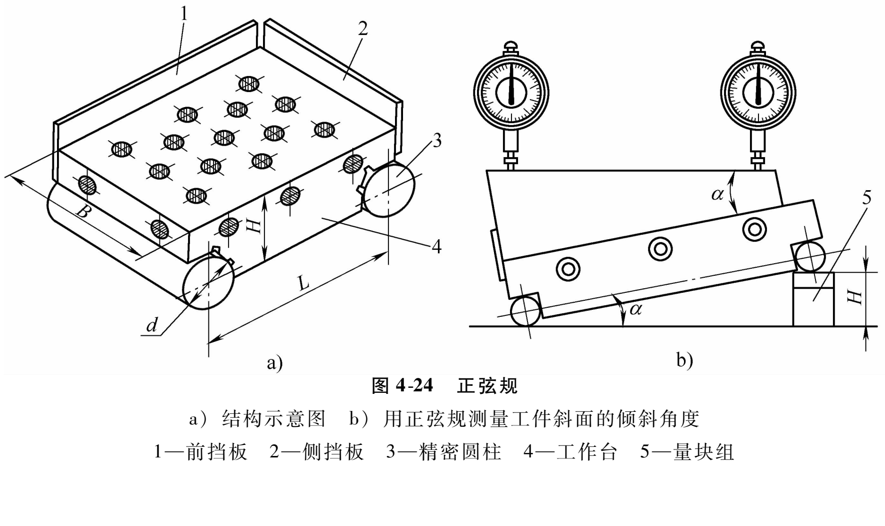
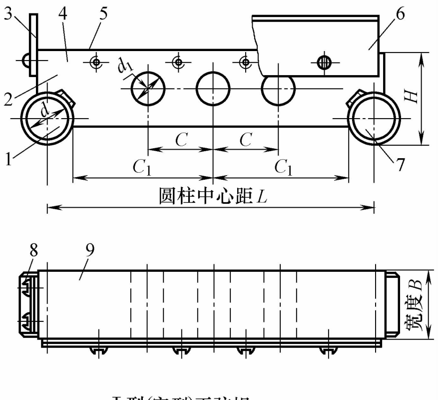


图 4-24 正弦规

a）结构示意图 b）用正弦规测量工件斜面的倾斜角度

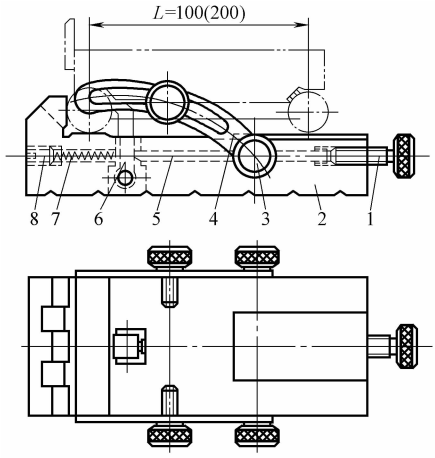
1—前挡板 2—侧挡板 3—精密圆柱 4—工作台 5—量块组

表 4-27 正弦规的结构及基本参数（GB/T 22526—2008） （单位：mm）



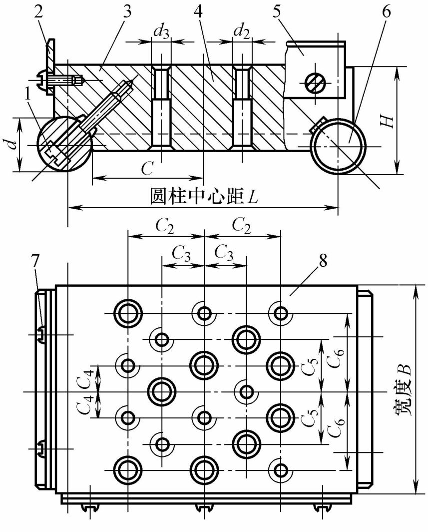
Ⅰ型(窄型)正弦规

1—圆柱 2—侧面 3—前挡板
4—主体 5—工作面 6—侧挡板
7—圆柱 8—螺钉 9—侧面



正弦规支承板

1—锁紧螺钉 2—底座 3—支撑螺钉 4—支撑板
5—压紧杆 6—压紧杠杆 7—弹簧 8—止推螺钉



Ⅱ型(宽型)正弦规

1—螺钉 2—前挡板 3—工作面 4—主体
5—侧挡板 6—圆柱 7—螺钉 8—侧面

（单位：mm）

基本参数	Ⅰ型正弦规		Ⅱ型正弦规	
	两圆柱中心距 L			
	100	200	100	200
B	25	40	80	80
d	20	30	20	30
H	30	55	40	55
C	20	40	—	—
C_1	40	85	40	85
C_2			30	70
C_3			15	30
C_4	—	—	10	10
C_5			20	20
C_6			30	30
d_1	12	20	—	—
d_2	—	—	7B12	7B12
d_3			M6	M6

正弦规的尺寸精度和公差要求见表4-28。

在正弦规上测量常用锥度的量块组尺寸见表4-29。

表4-28 正弦规的尺寸精度和公差要求（GB/T 22526—2008）(单位：μm)

项 目/μm		规格				备 注
		$L=100$mm		$L=200$mm		
		0级	1级	0级	1级	
两圆柱中心距的偏差	Ⅰ型	±1	±2	±1.5	±3	
	Ⅱ型	±2	±3	±2	±4	
两圆柱轴线的平行度	Ⅰ型	1	1	1.5	2	全长上
	Ⅱ型	2	3	2	4	
主体工作面上各孔中心线间距离的偏差	Ⅱ型	±150	±200	±150	±200	
同一正弦规的两圆柱直径差	Ⅰ型	1	1.5	1.5	2	
	Ⅱ型	1.5	3	2	3	
圆柱工作面的圆柱度	Ⅰ型	1	1.5	1.5	2	
	Ⅱ型	1.5	2	1.5	2	
正弦规主体工作面的平面度		1	2	1.5	2	中凹
正弦规主体工作面与两圆柱下部母线公切面的平行度		1	2	1.5	3	
侧挡板工作面与圆柱轴线的垂直度		22	35	30	45	全长上
前挡板工作面与圆柱轴线的平行度	Ⅰ型	5	10	10	20	
	Ⅱ型	20	40	30	60	
正弦规装置成30°时的综合误差	Ⅰ型	±5″	±8″	±5″	±8″	
	Ⅱ型	±8″	±16″	±8″	±16″	

表4-29 在正弦规上测量常用锥度的量块组尺寸

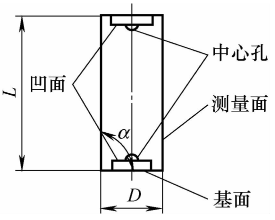
锥度 C	量块组尺寸/mm 两圆柱中心距/mm		锥度 C		量块组尺寸/mm 两圆柱中心距/mm	
	$L=100$	$L=200$			$L=100$	$L=200$
1∶200	0.5000	1.0000	1∶5		19.8020	39.6040
1∶100	1.0000	2.0000	1∶3		32.4324	64.8649
1∶50	1.9998	3.9996	莫氏	0	5.2015	10.4029
1∶30	3.3324	6.6648		1	4.9850	9.9700
1∶20	4.9969	9.9938		2	4.9920	9.9840
1∶15	6.6593	13.3185		3	5.0164	10.0328
1∶12	8.3189	16.6378		4	5.1903	10.3806
1∶10	9.9751	19.9501		5	5.2590	10.5179
1∶8	12.4514	24.9027		6	5.2102	10.4203
1∶7	14.2132	28.4264	米制		4.9968	9.9937

4.4.2 直角尺

角尺主要用于工件直角的检验和划线，以及检验零件或部件相关表面的垂直度。常见直角尺的型式、结构与规格见表4-30。

表4-30 常见直角尺的型式、结构与规格（GB/T 6092—2004） (单位：mm)

圆柱直角尺

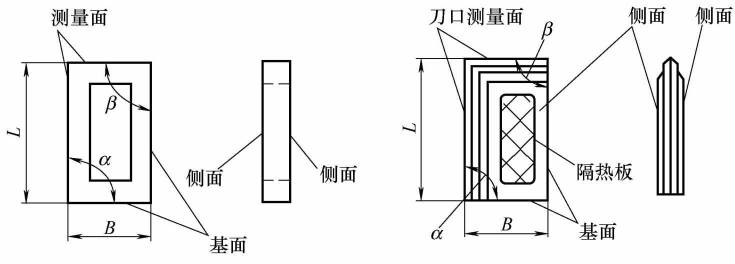


注：图中的α角为直角尺的工作角

（续）

精度等级		00级、0级				
基本尺寸	*D*	200	315	500	800	1250
	L	80	100	125	160	200

矩形直角尺



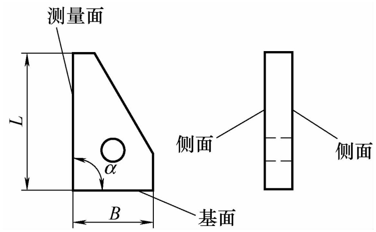
a)矩形直角尺　b) 刀口矩形直角尺

注：图中的 α、β 角为直角尺的工作角

矩形直角尺	精度等级		00级、0级、1级				
	基本尺寸	*L*	125	200	315	500	800
		B	80	125	200	315	500

刀口矩形直角尺	精度等级		00级、0级		
	基本尺寸	*L*	63	125	200
		B	40	80	125

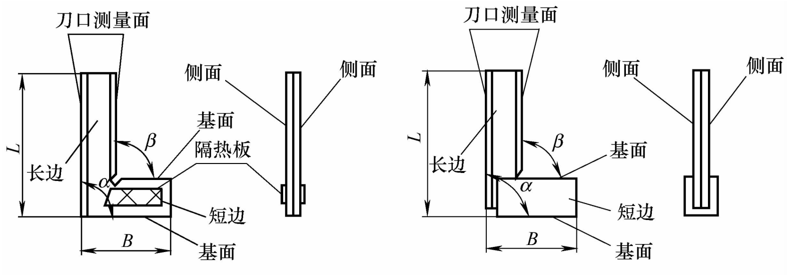
三角形直角尺



注：图中的 α 角为直角尺的工作角

精度等级		00级、0级					
基本尺寸	*L*	125	200	315	500	800	1250
	B	80	125	200	315	500	800

刀口形直尺



a) 刀口形直尺　b) 宽座刀口形直尺

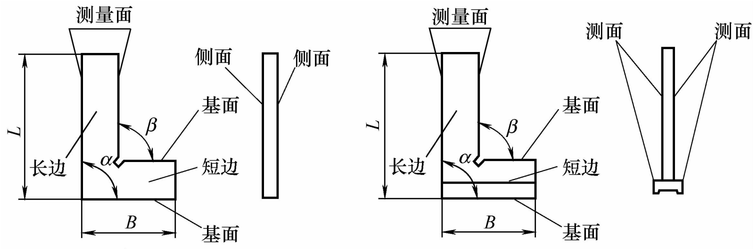
注：图中的 α、β 角为刀口形直尺的工作角

（续）

刀口形直尺	精度等级		0 级、1 级						
	基本尺寸	L	50	63	80	100	125	160	200
		B	32	40	50	63	80	100	125

宽座刀口形直尺	精度等级		0 级、1 级									
	基本尺寸	L	50	75	100	150	200	250	300	500	750	1000
		B	40	50	70	100	130	165	200	300	400	550

平面形直角尺

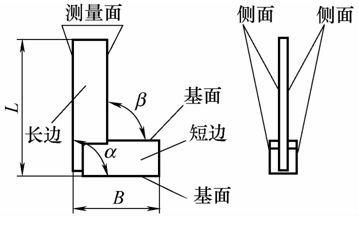


a) 平面形直角尺　　b) 带座平面形直角尺

注：图中的 α、β 角为直角尺的工作角

平面形直角尺和带座平面形直角尺	精度等级	0 级、1 级和 2 级									
	基本尺寸	L	50	75	100	150	200	250	300	500	750	1000
		B	40	50	70	100	130	165	200	300	400	550

宽座直角尺



注：图中的 α、β 角为直角尺的工作角

精度等级		0 级、1 级和 2 级														
基本尺寸	L	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
	B	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000

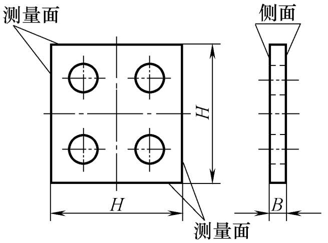
4.4.3 方形角尺

方形角尺用于检验金属切削机床及其他机械设备的形状误差和位置误差，其型式及基本参数见表 4-31。

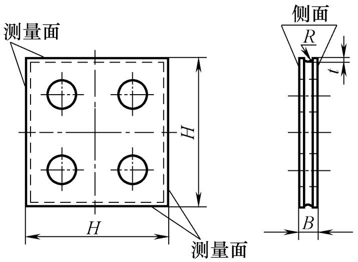
4.4.4 游标万能角度尺

游标万能角度尺是利用游标读数原理来测量角度的量具，有两种结构型式，见表 4-32。用 I 型游标万能角度尺测量角度的方法见图 4-25。

表 4-31 方形角尺的型式及基本参数 （单位：mm）



a) I型方形角尺

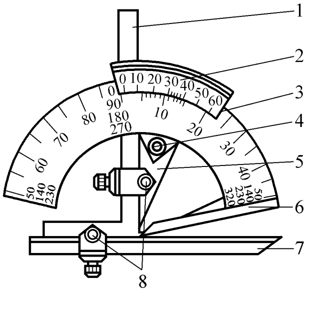


b) II型方形角尺

H	B	R	t	精度等级
100	16	3	2	00 级、0 级、1 级
150	30	4	2	
160	30	4	2	
200	35	5	3	
250	35	6	4	
300	40	6	4	
315	40	6	4	
400	45	8	4	
500	55	10	5	
630	65	10	5	

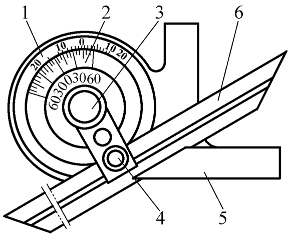
表 4-32 游标万能角度尺的结构型式

I型



1—直尺 2—游标 3—主尺 4—制动器
5—扇形板 6—基尺 7—直尺 8—卡块

II型



1—主尺 2—游标 3—制动器
4—卡块 5—基尺 6—直尺

（续）

型式	游标读数值	测量范围	直角测量面	附加直角测量面	其他测量面
			公称长度/mm		
Ⅰ型	2′，5′	0°～320°	≥150	—	≥50
Ⅱ型	5′	0°～360°	200，300	—	

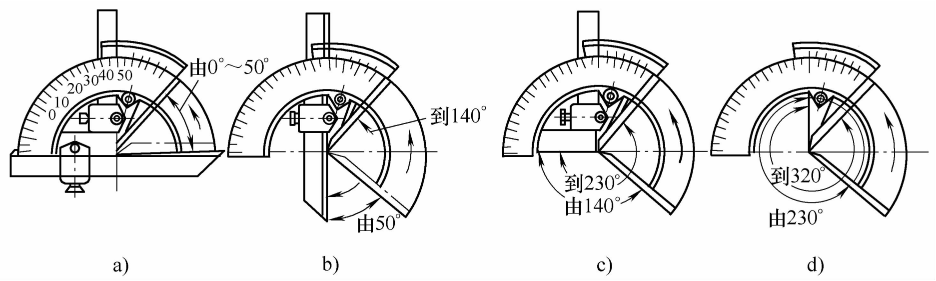


图 4-25 用Ⅰ型游标万能角度尺测量角度的方法

a）测量 0°～50° b）测量 50°～140° c）测量 140°～230° d）测量 230°～320°

4.4.5 刀口形直尺

刀口形直尺可以通过透光法或涂色法来测量工件的平面度和直线度误差，其结构和主要规格见表 4-33。

4.4.6 水平仪

水平仪是检测被测平面相对水平面微小倾角的计量器具，它可以测量平面的直线度、平面度、平行度和垂直度。水平仪常用来检测工件表面和调整安装各种设备的水平和垂直位置，如检测机床的导轨、工作台面、仪器的底座平面等。常用的水平仪为水准式水平仪，可分为条式水平仪、框式水平仪和合像水平仪三种。

1. 条式水平仪

表 4-33 刀口形直尺的结构和主要规格 （单位：mm）

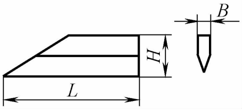
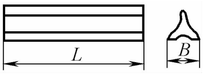
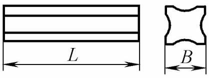
型式	简图	精度等级	尺寸		
			L	B	H
刀口尺		0 级和 1 级	75	6	22
			125	6	27
			200	8	30
			300	8	40
			(400)	(8)	(45)
			(500)	(10)	(50)
三棱尺		0 级和 1 级	200	26	
			300	30	
			500	40	
四棱尺		0 级和 1 级	200	20	
			300	25	
			500	35	

图 4-26a 所示的条式水平仪，其下端检测面上制有 V 形槽，以便放在圆柱形的被测面上进行检测。顶面上有水准器和调零装置。水准器是一个密封的玻璃管，其内壁是具有一定曲率半径的圆弧面，管内装有乙醚或乙醇，且留下一个小空间并形成气泡，玻璃管外表面刻有刻度线。当水准器处于水平位置时，气泡位于中央（见图 4-26b）；水准器相对于水平面倾斜时，气泡就偏向高的一侧（见图 4-26c）。条式水平仪工作面的长度有 200mm 和 300mm 两种。

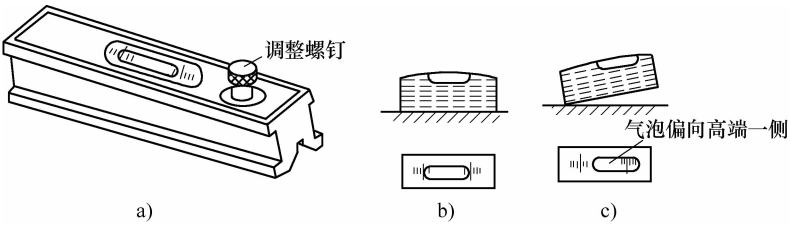


图4-26 条式水平仪及水准器工作原理

a）条式水平仪 b）水准器工作原理图一 c）水准器工作原理图二

2. 框式水平仪

图4-27a所示的框式水平仪，除有安装水准器的下检测面外，还有一个与下检测面垂直的侧检测面。因此，可以检测被测表面对水平面的垂直度。框式水平仪的读数方法见图4-27b。当水准器发生倾斜时，气泡移向高端。一般规定气泡右移时，读数为正（左低右高）；气泡左移时，读数为负（左高右低）。倾斜角的大小由气泡对准的刻度读出。例如200mm×200mm，分度值i为0.02mm/1000mm的框式水平仪，当气泡移动1格时（水准器的刻线间距为2mm），在1000mm距离处的高度差为0.02mm（或倾斜角为4″）。

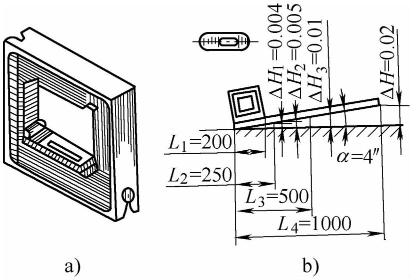


图4-27 框式水平仪及其读数方法

a）框式水平仪 b）框式水平仪的读数方法

因此，检测时如以平面在确定长度上的高度差表示工件的倾斜程度，则有：

高度差（ΔH）＝水平仪分度值（i＝0.02mm/1000mm）×被测工件长度（L）×气泡移动格数n（即$\Delta H = i \times L \times n$）

如果以工件表面倾斜角度来表示，则有：

工件表面倾斜角（θ）＝水平仪分度值（i＝4″）×气泡移动格数n（即$\theta = i \times n$）。

框式水平仪的框架规格中，除常用的200mm×200mm外，还有150mm×150mm、250mm×250mm和300mm×300mm共四种。

3. 合像水平仪

图4-28a所示为合像水平仪的结构。其主水准器4安装在杠杆10架子的底板上，可以用微动旋钮2调整位置。水准器内的气泡经两个不同位置的棱镜反射至观察窗1放大观察（分成两半合像）。由图4-28c可见，当水准器在水平位置时，气泡A、B两半就对齐；而当

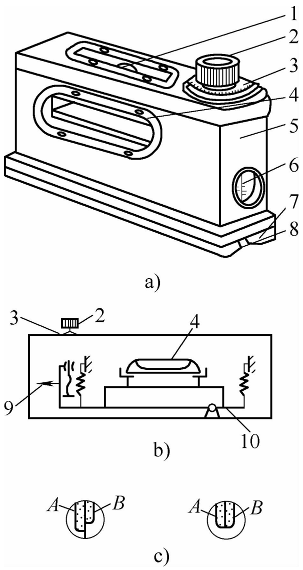


图4-28 合像水平仪

a）合像水平仪的结构 b）合像水平仪的原理图 c）合像水平仪的气泡示意图
1—观察窗 2—微动旋钮 3—微分盘
4—主水准器 5—壳体 6—毫米/米刻度
7—底面工作面 8—V形工用面
9—指针 10—杠杆

水准器不在水平位置时，气泡 A、B 两半就错开。

合像水平仪是高精度测量仪器，其分度值可为 2″，即 0.01mm/1000mm，常用于精密测量中。

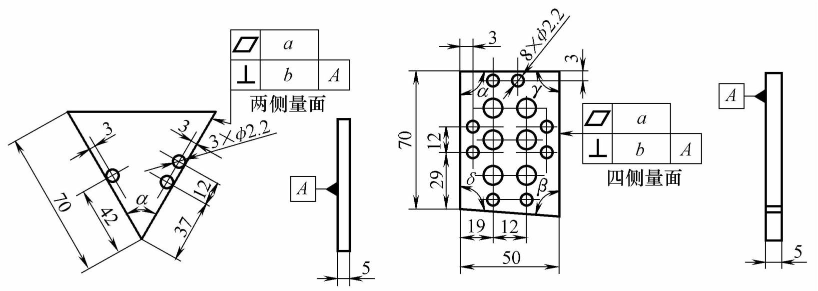
4.4.7 角度量块

角度量块是一种精密的测量角度量具，用于精密角度的测量，角度规、角度样板的检定，以及对精密机床加工过程中的角度调整等。

1. 常用角度量块

常用角度量块的形状为三角形（Ⅰ型）或四角形（Ⅱ型），均以相邻平面的夹角作为测量角。角度量块的型式及分组与配套表 4-34。Ⅰ型角度量块只有一个工作角 α，而Ⅱ型角度量块则有 α、β、γ、δ 四个工作角。常用角度量块的厚度为 5mm，通常有 7 块组、36 块组和 94 块组三种，其精度分为 0 级、1 级和 2 级。角度量块可以单块使用，也可以多块组合成所需的角度后使用。角度量块的精度等级和偏差见表 4-35。

表 4-34 角度量块的型式及分组与配套



Ⅰ型　　Ⅱ型

第 1 组（7 块）

序　　号	工作角度公称值	型　　式	块　　数	精 度 等 级
1	15°10′	Ⅰ	1	1 和 2 级
2	30°20′		1	
3	45°30′		1	
4	50°		1	
5	60°40′		1	
6	75°50′		1	
7	90°—90°—90°—90°	Ⅱ	1	

第 2 组（36 块）

序　　号	工作角度公称值	型　　式	块　　数	精 度 等 级
1	10°，11°，…，20°	Ⅰ	11	0 和 1 级
2	30°，40°，50°，60°，70°	Ⅰ	5	
3	45°	Ⅰ	1	
4	15°10′，15°20′，15°30′，15°40′，15°50′	Ⅰ	5	
5	15°1′，15°2′，…，15°9′	Ⅰ	9	
6	10°0′30″	Ⅰ	1	
7	80°—81°—100°—99° 89°10′—89°20′—90°50′—90°40′ 89°30′—89°40′—90°30′—90°20′ 90°—90°—90°—90°	Ⅱ	4	

（续）

第 3 组(94 块)				
序　　号	工作角度公称值	型　　式	块　　数	精 度 等 级
1	10°，11°，…，19° 20°，21°，…，29° 30°，31°，…，39° 40°，41°，…，49° 50°，51°，…，59° 60°，61°，…，69° 70°，71°，…，79°	Ⅰ	70	0 和 1 级
2	15°10′，15°20′，15°30′，15°40′，15°50′	Ⅰ	5	
3	15°1′，15°2′，…，15°9′	Ⅰ	9	
4	10°0′30″	Ⅰ	1	
5	80°—81°—100°—99° 82°—83°—98°—97° 84°—85°—96°—95° 86°—87°—94°—93° 88°—89°—92°—91° 90°—90°—90°—90°	Ⅱ	6	
6	89°10′—89°20′—90°50′—90°40′ 89°30′—89°40′—90°30′—90°20′ 89°50′—89°89′30″—90°10′—90°0′30″	Ⅱ	3	

第 4 组(7 块)				
序　　号	工作角度公称值	型　　式	块　　数	精 度 等 级
1	15°，15°0′15″，15°0′30″，15°0′45″，15°1′	Ⅰ	5	0 级
2	89°59′30″—89°59′45″—90°0′30″—90°0′15″	Ⅱ	1	
3	90°—90°—90°—90°	Ⅱ	1	

表 4-35　角度量块的精度等级和偏差

精度等级	工作角度偏差 /(″)	测量面的平面度公差 a/μm	测量面对于基准面 A 的垂直度公差 b /(″)
0	±3	0.1	30
1	±10	0.2	90
2	±30	0.3	

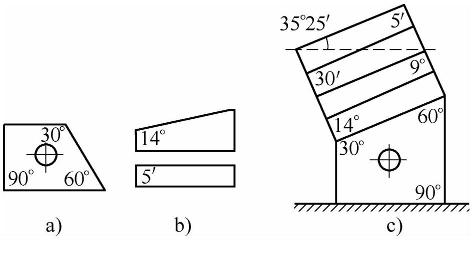


图 4-29　特种角度量块
a）三个工作角度量块　b）一个工作角度量块
c）特种角度量块组合实例（35°25′）

2. 特种角度量块

特种角度量块常由 8 块、12 块及 14 块组成，工作面厚度为 8mm，其中使用较多的为 8 块组。其中，1 块由标称值为 30°、60°、90° 三个工作角度（见图 4-29a），其余 7 块都只有一个工作角度，标称值分别为 14°、9°、3°、1°、30′、15′和 5′（见图 4-29b）。这组角度量块可组成 5′至 90°，其间隔值为 5′的任意角度（见图 4-29c）。

3. 测量角度的判定

用角度量块检测角度时，通常是根据角度量块的两个测量面与被测量角两个（或一个）面之间的接触状态，来判定被测量角度值的大小。

由图 4-30 可见，如果被测量角的两个面

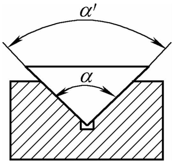


图 4-30 $\alpha' = \alpha$

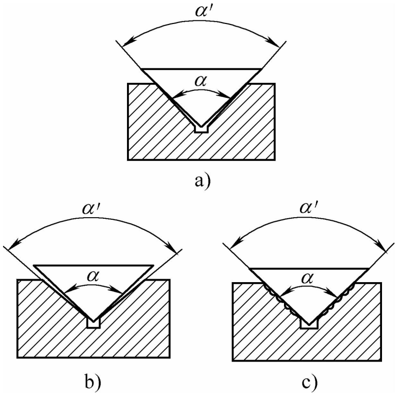


图 4-31 被测角大小的判定

a）$\alpha' < \alpha$ b）$\alpha' > \alpha$ c）表面不平直

与角度量块的两个面处处紧密贴合、不透光，则表明被测量角的值等于所使用角度量块的值，即 $\alpha' = \alpha$；如果被测量角两个面的上部与角度量块的两个测量面部分接触，则说明被测量角的值小于所用角度量块的值，即 $\alpha' < \alpha$（见图 4-31a）；反之，如果是在下部接触（见图 4-31b），或被测量角的一个面与角度量块的一个测量面接触，而与另一个面不接触，透得过光线，则表明被测量的角大于所用角度量块的值，取 $\alpha' > \alpha$。如果被测量角的两个面与角度量块的两个测量面虽然接触，但接触面间看得见有不均匀光隙（见图 4-31c），则表明被测量角的面不平直。

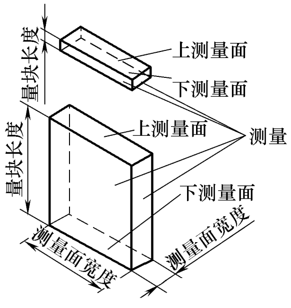
4.5 量块、量针和量规

4.5.1 量块

量块常用来测量精密零件或校正、检验测量器具，也可用于调整精密机床等。量块一般成套使用，量块的尺寸见表 4-36。用量块组合尺寸时，应尽可能选取最少的块数，以获得较高的精度。例如使用 83 块一套的量块，组合尺寸为 87.545mm，可按下述步骤选择量块尺寸。

选取第一块量块尺寸为 1.005mm，则 (87.545 − 1.005) mm = 86.54mm；

表 4-36 量块的尺寸（GB/T 6093—2001）



套别	总块数	级别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数
1	91	00，0，1	0.5		1
			1		1
			1.001，1.002，…，1.009	0.001	9
			1.01，1.02，…，1.49	0.01	49
			1.5，1.6，…，1.9	0.1	5
			2.0，2.5，…，9.5	0.5	16
			10，20，…，100	10	10

（续）

套别	总块数	级别	尺寸系列/mm	间隔/mm	块数
2	83	00，0，1，2，（3）	0.5 1 1.005 1.01，1.02，…，1.49 1.5，1.6，…，1.9 2.0，2.5，…，9.5 10，20，…，100	— — — 0.01 0.1 0.5 10	1 1 1 49 5 16 10
3	46	0，1，2	1 1.001，1.002，…，1.009 1.01，1.02，…，1.49 1.1，1.2，…，1.9 2，3，…，9 10，20，…，100	 0.001 0.01 0.1 1 10	1 9 9 9 8 10
4	38	0，1，2，（3）	11.005 1.01，1.02，…，1.09 1.1，1.2，…，1.9 2，3，…，9 10，20，…，100	— — 0.01 0.1 1 10	1 1 9 9 8 10
5	10 −	00，0，1	0.991，0.992，…，1	0.001	10
6	10 +	00，0，1	1，1.001，…，1.009	0.001	10
7	10 −	00，0，1	1.991，1.992，…，2	0.001	10
8	10 +	00，0，1	2，2.001，2.002，…，2.009	0.001	10
9	8	00，0，1，2，（3）	125，150，175，200，250，300，400，500	—	8
10	5	00，0，1，2，（3）	600，700，800，900，1000	—	5
11	10	0，1	2.5，5.1，7.7，10.3，12.9，15，17.6，20.2，22.8，25	—	10
12	10	0，1	27.5，30.1，32.7，35.3，37.9，40，42.6，45.2，47.8，50	—	10
13	10	0，1	52.5，55.1，57.7，60.3，62.9，65，67.6，70.2，72.8，75	—	10
14	10	0，1	77.5，80.1，82.7，85.3，87.9，90，92.6，95.2，97.8，100	—	10
15	12	3	10，20（二块），41.2，51.2，81.5，101.2，121.5，121.8，191.8，201.5，291.8	—	12
16	6	3	101.2，200，291.5，375，451.8，490	—	6
17	6	3	201.2，400，581.5，750，901.8，990	—	6

注：对于套别 11、12、13、14，允许制成圆形的。

选取第二块量块尺寸为 1.04mm，则（86.54 - 1.04）mm = 85.50mm；

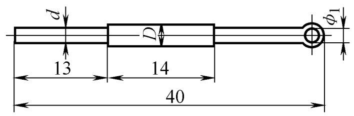
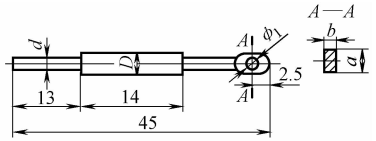
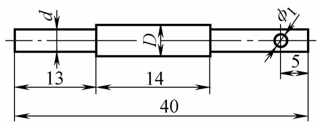
选取第三块量块尺寸为 5.50mm，则（85.50 - 5.50）mm = 80mm；

选取第四块量块尺寸则为 80mm。

4.5.2 量针

量针是一种以间接法测量螺纹中径的针形测量器具，有 0 级和 1 级两个精度等级。量针分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型，其型式与尺寸见表 4-37。

表 4-37 量针的型式与尺寸 （单位：mm）

<table>
<tr><th rowspan="2">图 示</th><th rowspan="2">型 式</th><th rowspan="2">公称直径 D</th><th colspan="3">基本尺寸</th></tr>
<tr><th>d</th><th>a</th><th>b</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Ⅰ型量针公称直径D为0.118～0.572mm</td><td rowspan="9">Ⅰ型</td><td>0.118</td><td>0.10</td><td rowspan="9">—</td><td rowspan="9">—</td></tr>
<tr><td>0.142</td><td>0.12</td></tr>
<tr><td>0.185</td><td>0.165</td></tr>
<tr><td>0.250</td><td>0.23</td></tr>
<tr><td>0.291</td><td>0.26</td></tr>
<tr><td>0.343</td><td>0.31</td></tr>
<tr><td>0.433</td><td>0.38</td></tr>
<tr><td>0.511</td><td>0.46</td></tr>
<tr><td>0.572</td><td>0.51</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Ⅱ型量针公称直径D为0.724～1.553mm</td><td rowspan="8">Ⅱ型</td><td>0.724</td><td>0.65</td><td rowspan="2">2.0</td><td rowspan="2">0.20</td></tr>
<tr><td>0.796</td><td>0.72</td></tr>
<tr><td>0.866</td><td>0.79</td><td rowspan="6">2.5</td><td rowspan="2">0.25</td></tr>
<tr><td>1.008</td><td>0.93</td></tr>
<tr><td>1.157</td><td>1.08</td><td>0.30</td></tr>
<tr><td>1.302</td><td>1.22</td><td>0.40</td></tr>
<tr><td>1.441</td><td>1.36</td><td>0.50</td></tr>
<tr><td>1.553</td><td>1.47</td><td>0.60</td></tr>
<tr><td rowspan="14">Ⅲ型量针公称直径D为1.732～6.212mm</td><td rowspan="14">Ⅲ型</td><td>1.732</td><td>1.66</td><td rowspan="14">—</td><td rowspan="14">—</td></tr>
<tr><td>1.833</td><td>1.76</td></tr>
<tr><td>2.050</td><td>1.98</td></tr>
<tr><td>2.311</td><td>2.24</td></tr>
<tr><td>2.595</td><td>2.52</td></tr>
<tr><td>2.886</td><td>2.81</td></tr>
<tr><td>3.106</td><td>3.03</td></tr>
<tr><td>3.177</td><td>3.10</td></tr>
<tr><td>3.550</td><td>3.47</td></tr>
<tr><td>4.120</td><td>4.04</td></tr>
<tr><td>4.400</td><td>4.32</td></tr>
<tr><td>4.773</td><td>4.69</td></tr>
<tr><td>5.150</td><td>5.07</td></tr>
<tr><td>6.212</td><td>5.12</td></tr>
</table>

4.5.3 量规

量规类量具是一种检验被测工件极限尺寸的专用定值量具。它没有刻度，不能读出被测工件的具体尺寸，但能判断出该工件合格与否。量规结构简单、使用方便、检验效率高，在大批量生产中得到广泛的应用。常用的量规有光滑极限量规、普通螺纹量规等。

1. 光滑极限量规

光滑极限量规是检验孔和轴的量规。检验孔的量规称为塞规，检验轴的量规称为卡规（或环规）。光滑极限量规的使用方法见表 4-38，孔用极限量规的型式与尺寸见表 4-39，轴用极限量规的型式与尺寸见表 4-40。

表 4-38 光滑极限量规的使用方法

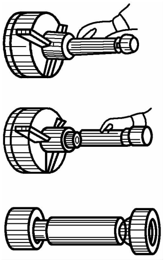
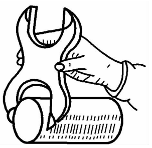
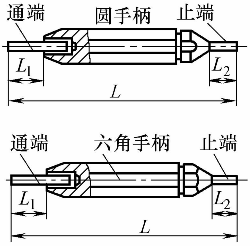
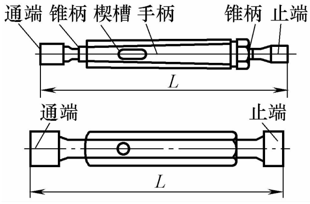
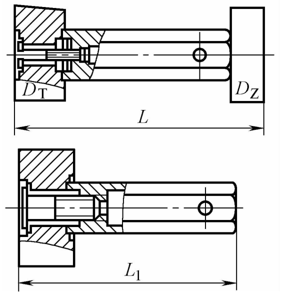
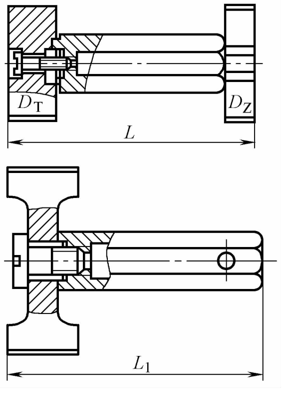
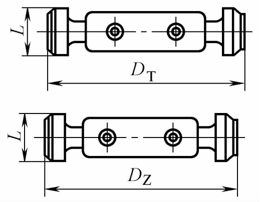
名称	孔用塞规	轴用卡规
图示		
使用方法	塞规和卡规都是成对使用的。其中一端为“通规”，用以控制孔的最小极限尺寸 D_{min} 和轴的最大极限尺寸 d_{max}；另一端为“止规”，用以控制孔的最大极限尺寸 D_{max} 和轴的最小极限尺寸 d_{min}。检验时，如通规能通过被测的孔或轴，而止规不能通过，则表示被测孔、轴的尺寸合格；如通规不能通过或止规通过了被测的孔或轴，则表明被测孔、轴的尺寸不合格	

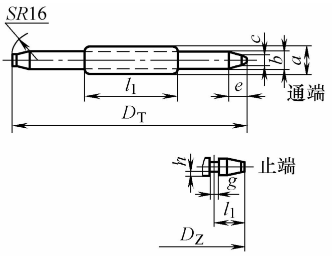
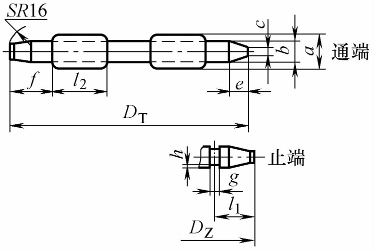
表 4-39 孔用极限量规的型式与尺寸（GB/T 10920—2008）（单位：mm）

类型	型　式	基本尺寸			
		D	L	L_1	L_2
针式塞规		1～3 >3～6	65 80	12 15	8 10

（续）

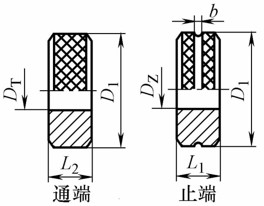
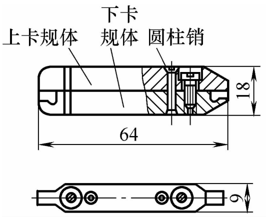
类型	型式	基本尺寸			
		D	L	D	L
锥柄圆柱塞规		1～3 >3～6 >6～10 >10～14	62 74 85 97	>14～18 >18～24 >24～30 >30～40 >40～50	110 132 136 145 171
		D	双头塞规 L	单头通端塞规 L_1	单头止端塞规 L_1
三牙锁紧式圆柱塞规		>40～50 >50～65 >65～110 >110～120	164 169 — —	148 153 173 178	141 141 165 165
		D	双头塞规 L	单头通端塞规 L_1	单头止端塞规 L_1
三牙锁紧式非全形塞规		>80～100 >100～120 >120～150 >150～180	181 186 — —	158 163 181 183	148 148 168 168
		D	通端塞规 L	止端塞规 L	
非全形塞规		>180～200 >200～220 >220～240 >240～260	52	42	

（续）

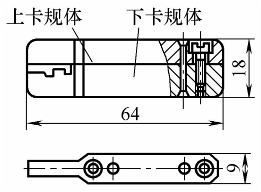
类型	型式	基本尺寸 D	L a	L b	L c	L_1 l_1	L_1 l_2	L_1 f	L_2 e	L_2 g	L_2 h
球端杆规	 120<D≤250 a)  250<D≤500 b)	>120～180	16	12	8	22	60	—	12	2	0.6
		>180～250	16	12	8	22	80	—	12	2	0.6
		>250～315	20	16	12	26	50	30	16	2	0.6
		>315～500	24	18	14	32	60	45	20	2.5	0.8

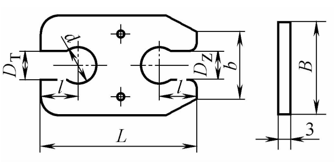
注：D_T—通端，D_Z—止端。

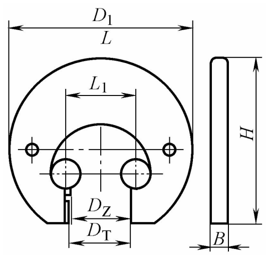
表 4-40　轴用极限量规的型式与尺寸（GB/T 10920—2008）（单位：mm）

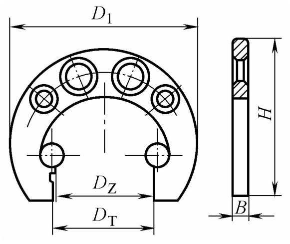
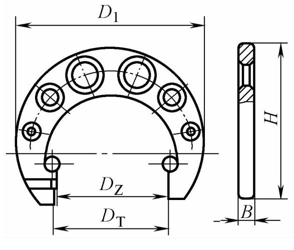
名称	型式	基本尺寸 D	D_1	L_1	L_2	b	基本尺寸 D	D_1	L_1	L_2	b
圆柱环规	 	1～2.5	16	4	6	1	>32～40	71	18	24	2
		>2.5～5	22	5	10		>40～50	85	20	32	3
		>5～10	32	8	12	2	>50～60	100	20	32	
		>10～15	38	10	14		>60～70	112	24	32	
		>15～20	45	12	16		>70～80	125	24	32	
		>20～25	53	14	18		>80～90	140	24	32	
		>25～32	63	16	20		>90～100	160	24	32	
双头组合卡规	 	1～3	上、下卡规体的具体尺寸见 GB/T 10920—2008								

（续）

名称	型式	基本尺寸 D	D_1	L_1	L_2	b	基本尺寸 D	D_1	L_1	L_2	b
单头双极限组合卡规		1～3	上、下卡规体的具体尺寸见 GB/T 10920—2008								

名称	型式	基本尺寸 D	L	l	B	d	b
双头卡规		＞3～6	45	22.5	26	10	14
		＞6～10	52	26	30	12	20

名称	型式	基本尺寸 D	D_1	H	B	基本尺寸 D	D_1	H	B
单头双极限卡规		1～3	32	31	3	＞30～40	82	72	8
		＞3～6	32	31	4	＞40～50	94	82	8
		＞6～10	40	38	4	＞50～65	116	100	10
		＞10～18	50	46	5	＞65～80	136	114	10
		＞18～30	65	58	6				

名称	型式	基本尺寸 D	D_1	H	B
单头双极限卡规		＞80～90	150	129	10
		＞90～105	168	139.5	
		＞105～120	186	153	
单头双极限卡规		＞120～135	204	168.5	10
		＞135～150	222	178	10
		＞150～165	240	192.5	12
		＞165～180	258	202	12
		＞180～200	278	216.5	14
		＞200～220	298	227	14
		＞220～240	318	242.5	14
		＞240～260	338	252	14

2. 普通螺纹量规（GB/T 10920—2008）

螺纹量规是用来检验螺纹合格与否的量规，其使用方法见表4-41。常用螺纹塞规、螺纹环规的结构和尺寸见表4-42～表4-47。

表 4-41 普通螺纹量规的使用方法

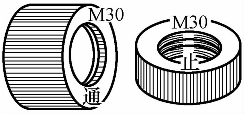
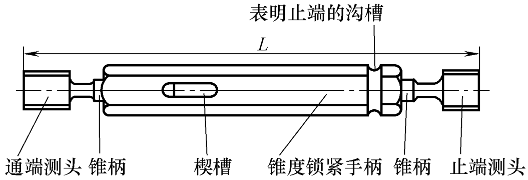
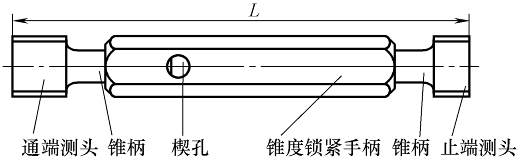
名称	螺纹塞规	螺纹环规
图示		
使用方法	由于加工外螺纹时要先制成光滑圆轴，而加工内螺纹时要先制成光滑圆孔，因此检验外螺纹大径和内螺纹小径要分别用光滑极限量规。故检验外螺纹的螺纹环规通端，只控制外螺纹的作用中径和小径；检验内螺纹的螺纹塞规通端，只控制内螺纹的作用中径和大径；而检验内、外螺纹量规的止端，只控制螺纹的单一中径。螺纹检验时，如螺纹量规通规在旋合长度内与被检螺纹顺利旋合，而螺纹量规的止端不能通过（但允许最多旋入 2～3 牙），则表示螺纹合格；否则不合格	

表 4-42 锥度锁紧式螺纹塞规的结构和尺寸 （单位：mm）



a) 适用于公称直径1～14mm

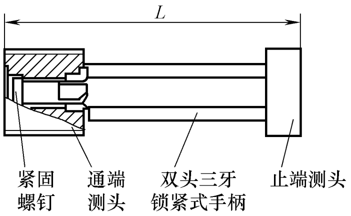


b) 适用于公称直径>14～100mm

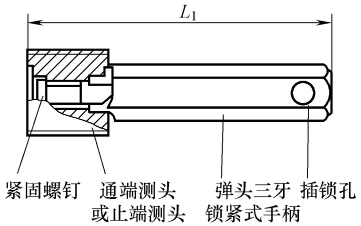
公称直径 d	螺距 P	L
$1 \leqslant d \leqslant 3$	0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45、0.5	62.5
$3 < d \leqslant 6$	0.35、0.5、0.6、0.7、0.75	70.5
	0.8、1	74
$6 < d \leqslant 10$	0.75	83
	1	84
	1.25、1.5	90
$10 < d \leqslant 14$	0.75、1	91
	1.25、1.5	97
	1.75、2	103
$14 < d \leqslant 18$	1	106
	1.5	112
	2	116
	2.5	124
$18 < d \leqslant 24$	1	124
	1.5	126
	2	132
	2.5	140
	3	144

公称直径 d	螺距 P	L
$24 < d \leqslant 30$	1、1.5	128
	2	132
	3	144
	3.5	160
$30 < d \leqslant 40$	1.5	146
	2	150
	3	162
	3.5、4	174
$40 < d \leqslant 50$	1.5、2	154
	3	167
	4	183
	4.5、5	191
$50 < d \leqslant 62$	1.5、2	172
	3	183
	4	197
	5	210
	5.5	217
$62 < d \leqslant 100$	1.5、2	172
	3	183
	4	194
	6	225

表 4-43 三牙锁紧式螺纹塞规的结构和尺寸 （单位：mm）



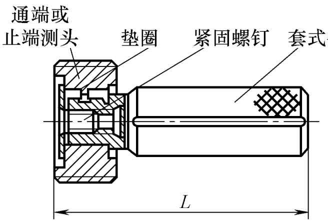
a) 适用于公称直径40～62mm



b) 适用于公称直径62～120mm

公称直径 d	螺　距 P	双头手柄	单头手柄		公称直径 d	螺　距 P	双头手柄	单头手柄	
			通端	止端				通端	止端
		L	L_1				L	L_1	
40～50	1，1.5，2	153	139	139	>62～80	1.5，2	—	159	159
	3	162	148	139		3		168	159
	4	178	155	148		4		173	168
	4.5，5	186	163			6		186	173
>50～62	1.5，2	153	139	139	82，85，90，95，100，105，110，115，120	1.5，2	—	159	159
	3	162	148	139		3		168	159
	4	178	155	148		4		173	168
	5	191	168			6		186	173
	5.5	198		155					

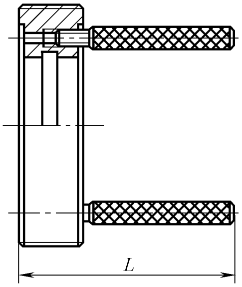
表 4-44 套式螺纹塞规的结构和尺寸 （单位：mm）



适用于公称直径 40～120mm

公称直称 d	螺　距 P	L		公称直称 d	螺　距 P	L	
		通　端	止　端			通　端	止　端
40～50	1，1.5，2	119	119	>62～80	1.5，2	119	119
	3	126	119		3	126	119
	4	133	126		4	136	126
	4.5，5	141	126		6	151	136
>50～62	1.5，2	119	119	82，85，90，95，100，105，110，115，120	1.5，2	119	119
	3	126	119		3	126	119
	4	133	126		4	136	126
	5，5.5	141	133		6	151	136

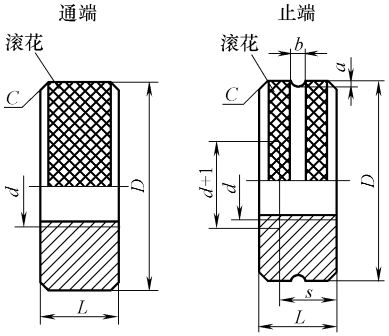
表 4-45 双柄式螺纹塞规的结构和尺寸 （单位：mm）



公称直径 d	螺距 P	L 通端	L 止端
105、110、115、120、125、130、135、140、145、150	2	109	109
	3	117	109
	4	129	117
	6	145	124
	8	154	126
155、160	3	117	109
	4	129	117

公称直径 d	螺距 P	L 通端	L 止端
155、160	6	152	124
	8	161	126
165、170、175、180	3	121	114
	4	129	119
	6	152	124
	8	161	126

表 4-46 整体式螺纹环规的结构和尺寸 （单位：mm）



对于止端测头的螺纹牙数过多时，可在其一端切成台阶（或在其两端切成 120°的倒棱），但长度 s（或中间螺纹部分）上应有不少于 4 个完整牙

<table>
<tr><th rowspan="2">公称直径
d</th><th rowspan="2">螺　距
P</th><th colspan="3">通　端</th><th colspan="5">止　端</th></tr>
<tr><th>D</th><th>L</th><th>C</th><th>D</th><th>L</th><th>a</th><th>b</th><th>C</th></tr>
<tr><td>1≤d≤2.5</td><td>0.2、0.25、0.3、0.35、0.4、0.45</td><td rowspan="3">22</td><td>4</td><td rowspan="3">0.4</td><td rowspan="3">22</td><td>4</td><td rowspan="4">0.6</td><td rowspan="3">0.6</td><td rowspan="5">0.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2.5<d≤5</td><td>0.35、0.5、0.6</td><td>5</td><td rowspan="4">5</td></tr>
<tr><td>0.7、0.75、0.8</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="4">5<d≤10</td><td>0.75</td><td rowspan="4">32</td><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">0.8</td><td rowspan="4">32</td><td rowspan="4">1</td></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="3">0.8</td></tr>
<tr><td>1.25</td><td>10</td><td rowspan="2">1.2</td><td rowspan="2">8</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>12</td><td>0.8</td></tr>
</table>

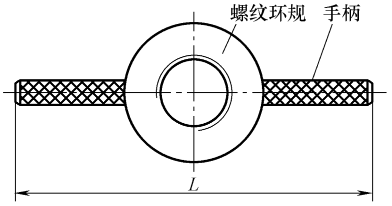
（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">公称直径
d</th><th rowspan="2">螺　距
P</th><th colspan="3">通　端</th><th colspan="5">止　端</th></tr>
<tr><th>D</th><th>L</th><th>C</th><th>D</th><th>L</th><th>a</th><th>b</th><th>C</th></tr>
<tr><td rowspan="5">10 < d≤15</td><td>0.75、1</td><td rowspan="5">38</td><td>8</td><td>0.8</td><td rowspan="5">38</td><td>6</td><td rowspan="18">1</td><td rowspan="18">2</td><td rowspan="2">0.6</td></tr>
<tr><td>1.25</td><td>10</td><td rowspan="3">1.2</td><td rowspan="2">8</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>12</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>1.75</td><td>14</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">1.2</td></tr>
<tr><td>2</td><td>16</td><td>1.5</td></tr>
<tr><td rowspan="4">15 < d≤20</td><td>1</td><td rowspan="4">45</td><td>8</td><td>0.8</td><td rowspan="4">45</td><td>6</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>12</td><td rowspan="2">1.5</td><td>8</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>16</td><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">1.2</td></tr>
<tr><td>2.5</td><td>20</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="4">20 < d≤25</td><td>1</td><td rowspan="4">53</td><td>8</td><td>0.8</td><td rowspan="4">53</td><td rowspan="2">8</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>14</td><td rowspan="2">1.5</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>16</td><td>12</td><td rowspan="2">1.2</td></tr>
<tr><td>2.5，3</td><td>24</td><td>2</td><td>16</td></tr>
<tr><td rowspan="5">25 < d≤32</td><td>1</td><td rowspan="5">63</td><td>8</td><td>0.8</td><td rowspan="5">63</td><td rowspan="2">8</td><td rowspan="2">0.8</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">1.5</td></tr>
<tr><td>2</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td>18</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>3.5</td><td>28</td><td>2.5</td><td>24</td></tr>
<tr><td rowspan="5">32 < d≤40</td><td>1.5</td><td rowspan="5">71</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">1.5</td><td rowspan="5">71</td><td>10</td><td rowspan="23">1.5</td><td rowspan="23">3</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td rowspan="2">18</td><td rowspan="3">2</td></tr>
<tr><td>3.5</td><td>32</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td>24</td></tr>
<tr><td rowspan="5">40 < d≤50</td><td>1.5</td><td rowspan="5">85</td><td rowspan="2">16</td><td rowspan="2">1.5</td><td rowspan="5">85</td><td>10</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td>18</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td>3</td><td>24</td></tr>
<tr><td>4.5、5</td><td>40</td><td>3</td><td>30</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="5">50 < d≤60</td><td>1.5、2</td><td rowspan="5">100</td><td>16</td><td>1.5</td><td rowspan="5">100</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td>18</td><td rowspan="3">2</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td rowspan="3">3</td><td>24</td></tr>
<tr><td>5</td><td>45</td><td>30</td></tr>
<tr><td>5.5</td><td>45</td><td>32</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">60 < d≤70</td><td>1.5、2</td><td rowspan="4">112</td><td>16</td><td>1.5</td><td rowspan="4">112</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td>18</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td rowspan="2">3</td><td>24</td></tr>
<tr><td>6</td><td>50</td><td>32</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">70 < d≤80</td><td>1.5、2</td><td rowspan="4">125</td><td>16</td><td>1.5</td><td rowspan="4">125</td><td>12</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>3</td><td>24</td><td>2</td><td>18</td><td rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>4</td><td>32</td><td rowspan="2">3</td><td>24</td></tr>
<tr><td>6</td><td>50</td><td>32</td><td>3</td></tr>
</table>

（续）

公称直径 d	螺距 P	通端 D	通端 L	通端 C	止端 D	止端 L	止端 a	止端 b	止端 C
82、85、90	2	140	16	1.5	140	14	1.5	3	1.2
	3		24	2		18			2
	4		32	3		24			
	6		50			32			3
95、100	2	160	16	1.5	160	14			1.2
	3		24	2		18			2
	4		32	3		24			
	6		50			32			3
105、110	2	170	20	1.5	170	16			1.5
	3		28	2		20			2
	4		36	3		24			
	6		56			32			3
115、120	2	180	20	1.5	180	16			1.5
	3		28	2		20			2
	4		36	3		24			
	6		56			32			3

表 4-47 双柄式螺纹环规的结构和尺寸 （单位：mm）

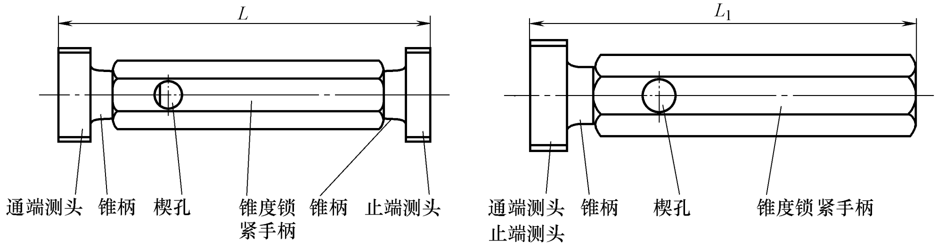


公称直径 d	螺距 P	L
125，130	2，3，4，6，8	372
135，140		382
145，150		394
155，160		406
165，170		418
175，180		432

3. 梯形螺纹量规（GB/T 8125—2004）

梯形螺纹量规的结构与尺寸见表 4-48 ~ 表 4-52。

表 4-48 锥度锁紧式螺纹塞规的结构与尺寸

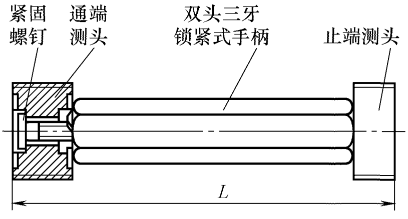


a) 公称直径8～50mm　　b) 公称直径大于50～100mm

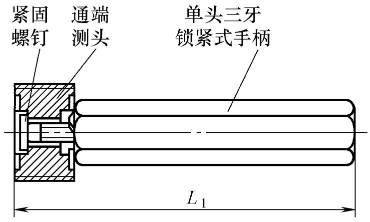
（续）

公称直径 d	螺距 P	双头 L	单头 L_1 通端	单头 L_1 止端
8	1.5	90	—	—
9、10	1.5	90	—	—
	2	96	—	—
11	2	103	—	—
	3	115	—	—
12、14	2	103	—	—
	3	115	—	—
16、18	2	116	—	—
	4	140	—	—
20	2	132	—	—
	4	154	—	—
22、24	3	144	—	—
	5	166	—	—
	8	204	—	—
26、28	3	144	—	—
	5	166	—	—
	8	204	—	—
30	3	144	—	—
	6	182	—	—
	10	219	—	—
32、34、36	3	162	—	—
	6	204	—	—
	10	241	—	—
38、40	3	162	—	—
	7	214	—	—
	10	241	—	—
42	3	167	—	—
	7	216	—	—
	10	241	—	—
44	3	167	—	—
	7	216	—	—
	12	268	—	—
46、48	3	167	—	—
	8	228	—	—
	12	268	—	—
50	3	183	—	—
	8	238	—	—
	12	278	—	—
52	3	—	145	138
	8	—	183	155
	12	—	204	174
55、60	3	—	145	138
	9	—	189	159
	14	—	219	183
65、70、75	4	—	152	145
	10	—	187	162
	16	—	232	189
80	4	—	152	145
	10	—	187	162
	16	—	232	189
85、90、95	4	—	152	145
	12	—	202	172
	18	—	242	197
100	4	—	152	145
	12	—	202	172
	20	—	242	207

表 4-49 三牙锁紧式螺纹塞规的结构与尺寸 （单位：mm）



a) 公称直径 50~60mm

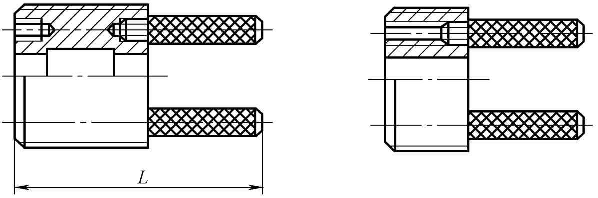


b) 公称直径大于 60~100mm

（续）

公称直径 d	螺距 P	双头 L	单头 L_1 通端	单头 L_1 止端	公称直径 d	螺距 P	双头 L	单头 L_1 通端	单头 L_1 止端
52	3	162	—	—	80	4	—	173	168
	8	221				10		203	188
	12	261				16		233	208
55、60	3	162			85、90、95	4		173	168
	9	231				12		211	198
	14	285				18		243	213
65、70、75	4	—	173	168	100	4		173	168
	10		203	188		12		211	198
	16		233	208		20		258	223

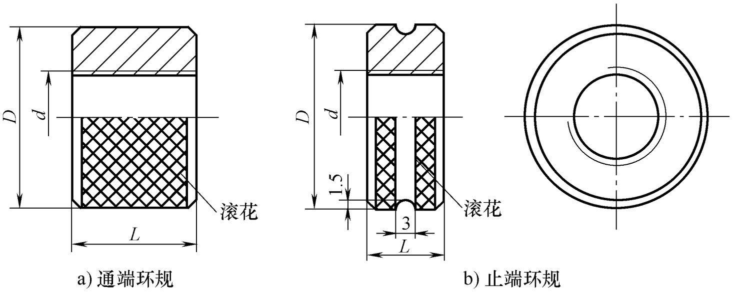
表4-50 双柄式螺纹塞规的结构与尺寸 （单位：mm）



a) 通端塞规　　b) 止端塞规

公称直径 d	螺距 P	L 通端	L 止端	公称直径 d	螺距 P	L 通端	L 止端
110	4	124	111	130	6	145	137
	12	174	144		14	189	153
	20	229	179		22	244	187
120	6	139	119	140	6	145	137
	14	189	153		14	189	153
	22	244	187		24	259	197

表4-51 整体式螺纹环规的结构与尺寸 （单位：mm）



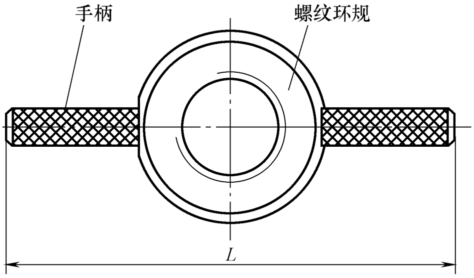
a) 通端环规　　b) 止端环规

（续）

公称直径 d	螺距 P	通端 D	通端 L	止端 D	止端 L
8	1.5	38	12	38	8
9，10	1.5				
	2		16		10
11	2				
	3		24		14
12，14	2		16		10
	3		24		14
16	2	45	16	45	12
	4		32		18
18，20	2		16		12
	4		32		18
22，24	3	53	24	53	16
	5		40		22
	8		64		36
26，28	3	63	24	63	18
	5		40		22
	8		64		36
30，32	3		24		18
	6		50		28
	10		70		45
34，36	3	71	24	71	18
	6		50		28
	10		70		45
38，40	3		24		18
	7		56		32
	10		70		45
42	3	85	24	85	18
	7		56		32
	10		70		45
44	3		24		18
	7		56		32
	12		85		55

公称直径 d	螺距 P	通端 D	通端 L	止端 D	止端 L
46、48、50	3	85	24	85	18
	8		64		36
	12		85		55
52	3	100	24	100	18
	8		64		36
	12		85		55
55，60	3		24		18
	8		70		40
	12		100		64
65，70	3	112	24	112	18
	8		70		45
	12		115		72
75	3	125	24	125	18
	9		70		45
	14		115		72
80	4		32		24
	10		70		45
	16		115		72
85	4	140	32	140	24
	10		85		55
	16		125		80
90	4		32		24
	12		85		55
	18		125		80
95	4	160	32	160	24
	12		85		55
	18		125		80
100	4		32		24
	12		85		55
	20		140		90

表4-52 双柄式螺纹环规的结构与尺寸 （单位：mm）

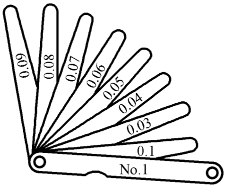


公称直径 d	螺距 P	L	
		通端	止端
110	4，12，20	352	
120	6，14，22	362	
130	6，14，22	372	
140	6，14，24	382	

4.5.4 塞尺

塞尺是一种片状量具（见表4-53），常用于检验两平面间隙的大小，如零部件装配间隙的大小和平面度等。塞尺常用的型号与规格见表4-53。

表4-53 塞尺常用的型号与规格（GB/T 22523—2008） （单位：mm）



A型	B型	塞尺片长度	片　　数	塞尺片厚度及组装顺序
组别标记				
75A13 100A13 150A13 200A13 300A13	75B13 100B13 150B13 200B13 300B13	75 100 150 200 300	13	保护片，0.02，0.02，0.03，0.03，0.04，0.04，0.05，0.05，0.06，0.07，0.08，0.09，0.10，保护片
75A14 100A14 150A14 200A14 300A14	75B14 100B14 150B14 200B14 300B14	75 100 150 200 300	14	1.00，0.05，0.06，0.07，0.08，0.09，0.10，0.15，0.20，0.25，0.30，0.40，0.50，0.75
75A17 100A17 150A17 200A17 300A17	751517 100B17 150B17 200B17 300B17	75 100 150 200 300	17	0.50，0.02，0.03，0.04，0.05，0.06，0.07，0.08，0.09，0.10，0.15，0.20，0.25，0.30，0.35，0.40，0.45

（续）

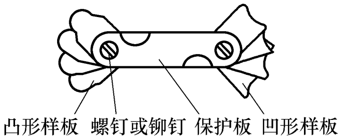
<table>
<tr><th>A 型</th><th>B 型</th><th rowspan="2">塞尺片
长度</th><th rowspan="2">片　　数</th><th rowspan="2">塞尺片厚度及组装顺序</th></tr>
<tr><th colspan="2">组别标记</th></tr>
<tr><td>75A20
100A20
150A20
200A20
300A20</td><td>75B20
100B20
1501120
200B20
300B20</td><td>75
100
150
200
300</td><td>20</td><td>1.00，0.05，0.10，0.15，0.20，0.25，0.30，0.35，0.40，0.45，0.50，0.55，0.60，0.65，0.70，0.75，0.80，0.85，0.90，0.95</td></tr>
<tr><td>75A21
100A21
150A21
200A21
300A21</td><td>75B21
1001121
150B21
200B21
3001521</td><td>75
100
150
200
300</td><td>21</td><td>0.50，0.02，0.02，0.03，0.03，0.04，0.04，0.05，0.05，0.06，0.07，0.08，0.09，0.10，0.15，0.20，0.25，0.30，0.35，0.40，0.45</td></tr>
</table>

注：保护片厚度建议采用≥0.30mm。

4.5.5 半径样板

半径样板主要用来检验凹形及凸形圆弧的半径，其规格及半径系列尺寸见表 4-54。

表 4-54 半径样板的规格及半径系列尺寸（JB/T 7980—2010）



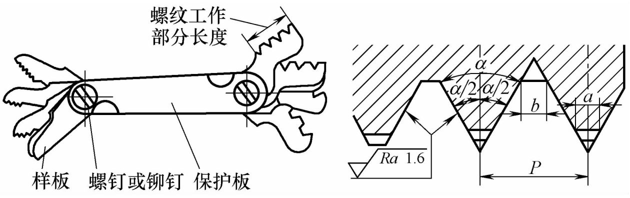
<table>
<tr><th rowspan="2">半径尺寸范围
/mm</th><th rowspan="2">半径尺寸系列
/mm</th><th rowspan="2">样板宽度
/mm</th><th rowspan="2">样板厚度
/mm</th><th colspan="2">样板数</th></tr>
<tr><th>凸形</th><th>凹形</th></tr>
<tr><td>1～6.5</td><td>1，1.25，1.5，1.75，2，2.25，2.5，2.75，3，3.5，4，4.5，5，5.5，6，6.5</td><td>13.5</td><td rowspan="3">0.5</td><td rowspan="3">16</td><td rowspan="3">16</td></tr>
<tr><td>7～14.5</td><td>7，7.5，8，8.5，9，9.5，10，10.5，11，11.5，12，12.5，13，13.5，14，14.5</td><td rowspan="2">20.5</td></tr>
<tr><td>15～25</td><td>15，15.5，16，16.5，17，17.5，18，18.5，19，19.5，20，21，22，23，24，25</td></tr>
</table>

4.5.6 螺纹样板

螺纹样板是带有不同螺距基本牙型的薄片形量具，又称螺距规，它是通过比较来检测被测螺纹的螺距。由于螺纹样板本身的牙型半角和螺距的精度不高，只适于检验精度不高的螺纹。它可以用来检验普通螺纹，还可用来检验英制螺纹，成套使用螺纹样板的基本尺寸见表4-55。

检验时，将样板的牙型扣在被测螺纹上，当样板上所有的牙都与被测螺纹的牙吻合，牙型之间不透光，则被测螺纹合格；否则不合格。

表 4-55 螺纹样板（JB/T 7981—2010）



（1）普通螺纹样板的螺纹牙型尺寸

螺距 P /mm		基本牙型角 α/(°)	牙型半角 $\alpha/2$ 的极限偏差 /(′)	牙顶和牙底宽度 /mm			螺纹工作部分长度 /mm
基本尺寸	极限偏差			a (min)	a (max)	b (max)	
0.40	±0.010	60	±60	0.10	0.16	0.05	5
0.45				0.11	0.17	0.06	
0.50			±50	0.13	0.21	0.06	
0.60				0.15	0.23	0.08	10
0.70	±0.015			0.18	0.26	0.09	
0.75			±40	0.19	0.27	0.09	
0.80				0.20	0.28	0.10	
1.00				0.25	0.33	0.13	
1.25			±35	0.31	0.43	0.16	
1.50			±30	0.38	0.50	0.19	16
1.75	±0.020			0.44	0.56	0.22	
2.00				0.50	0.62	0.25	
2.50			±25	0.63	0.75	0.31	
3.00				0.75	0.87	0.38	
3.50				0.88	1.03	0.44	
4.00				1.00	1.15	0.50	
4.50			±20	1.13	1.28	0.56	
5.00				1.25	1.40	0.63	
5.50				1.38	1.53	0.69	
6.00				1.50	1.65	0.75	

（续）

（2）寸制螺纹样板的螺纹牙型尺寸								
螺纹牙数 n /（n/in）	螺距 P /mm		基本牙型角 α/（°）	牙型半角 $\alpha/2$ 的极限偏差 /（′）	牙顶和牙底宽度 /mm			螺纹工作部分长度 /mm
	基本尺寸	极限偏差			a（min）	a（max）	b（max）	
28	0.9071			±40	0.22	0.30	0.15	
24	1.0583				0.27	0.39	0.18	
20	1.2700	±0.015		±35	0.29	0.41	0.19	10
18	1.4111				0.31	0.43	0.21	
16	1.5875				0.33	0.45	0.22	
14	1.8143			±30	0.35	0.47	0.24	
13	1.9538				0.39	0.51	0.27	
12	2.1167				0.45	0.57	0.30	
11	2.3091		55		0.52	0.64	0.35	
10	2.5400				0.57	0.69	0.38	
9	2.8222			±25	0.62	0.74	0.42	
8	3.1750	±0.020			0.69	0.81	0.47	16
7	3.6286				0.77	0.92	0.53	
6	4.2333				0.89	1.04	0.60	
5	5.0800			±20	1.04	1.19	0.70	
4 1/2	5.6444				1.24	1.39	0.85	
4	6.3500				1.38	1.53	0.94	

4.6 电动轮廓仪

电动轮廓仪是采用针描法测量表面粗糙度的精密仪器，由传感器、驱动器、指示表等部件组成（见图 4-32）。它一般能够测量内（外）圆柱面、平面、沟槽、锥面、圆弧面、球面等各种形状表面的表面粗糙度值，测量的范围为 0.025～5μm。便携式电动轮廓仪适于在现场使用。

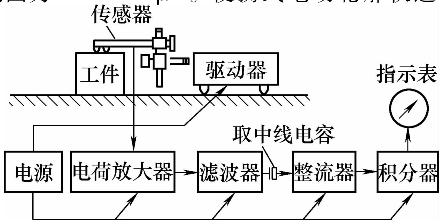


图 4-32 电动轮廓仪工作原理图

测量时，由驱动器驱动传感器在工件表面上作直线运动。传感器端部的金刚石触针因被测表面轮廓的峰、谷起伏而移动，从而使传感器产生相应的电荷，经放大、处理后，在指示表上指示出表面粗糙度的测量结果。

4.7 量具的选择

选择量具时，应根据被测零件的形状、精度、质量、表面状况、生产批量、经济性等进行综合分析，正确选取。

4.7.1 根据测量内容和零件状况选择量具

测量内容包括直径、长度、角度、形状和位置等，应根据测量内容选用最合适的量具。而每一种量具又有多种规格，因此对于绝对测

量，要求量具的测量范围大于被测量的量，但不应相差太大，否则不仅不经济，而且测量精度还难以保证。对于比较测量，量具的示值范围一定要大于被测件参数的公差。对于比较粗糙的表面，不得用精密的量具去测量；对于质量超过量具允许负载值的工件，应将量具（或量仪）置于工件上进行测量；对于薄型、质软、刚性差、易变形的工件，就应选用测量力较小的量具。

4.7.2 根据零件的生产批量选择量具

单件小批量生产中，工件的测量应选择通用量具及量仪；成批生产中，应以量规及专用量具、量仪为主；大批量生产中，应选用高效、自动化的专用测量器具。

4.7.3 根据零件的精度选择量具

量具的测量精度必须与被测零件的精度相适应，否则不是保证不了测量要求，就是造成浪费。在生产中，量具的具体选择有下述两种方法：

（1）按国家标准 GB/T 3177—2009《产品几何技术规范（GPS） 光滑工件尺寸的检验》的规定选择 此标准适用于普通计量器具（如游标卡尺、千分尺及车间使用的比较仪等），对图样上注出的公差等级为 IT6 ~ IT8、基本尺寸至 500mm 的光滑工件尺寸的检验，也适用于对一般公差尺寸的检验。

1）验收极限与安全裕度。国家标准规定的验收原则是：只接收在规定的极限尺寸范围内的工件，即只允许有误废，不允许有误收。为了保证实现这一原则，保证零件的互换性，将误收减至最小，规定了验收极限与安全裕度。

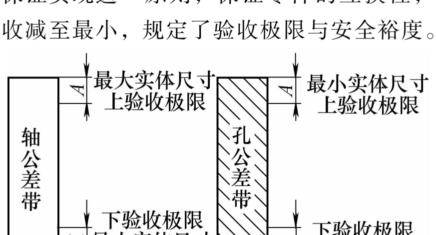


图 4-33 验收极限与安全裕度

标准对验收极限给出了两种方式：

① 方式一：验收极限是从图样上标定的最大实体尺寸和最小实体尺寸，分别向工件公差带内移动一个安全裕度 A 来确定（见图 4-33）。因此：

孔尺寸的验收极限：

上验收极限 = 最小实体尺寸（孔的最大极限尺寸）－安全裕度 A

下验收极限 = 最大实体尺寸（孔的最小极限尺寸）＋安全裕度 A

轴尺寸的验收极限：

上验收极限 = 最大实体尺寸（轴的最大极限尺寸）－安全裕度 A

下验收极限 = 最小实体尺寸（轴的最小极限尺寸）＋安全裕度 A

② 方式二：验收极限等于规定的最大实体尺寸和最小实体尺寸，即 A 值等于零。

安全裕度 A 值过大，则缩小了生产过程中允许的公差，给加工带来困难；A 值过小，则要求测量精度高。安全裕度 A 由工件的公差确定，A 值为工件公差（T）的 1/10（见表 4-56）。一般对非配合及一般公差的尺寸，其验收极限按方式二规定，公差等级高的尺寸按方式一规定。

2）按计量器具的测量不确定度的允许值选择计量器具。国家标准规定：按照计量器具的测量不确定度允许值 u_1 来选择计量器具。由表 4-60 可见，u_1 值的大、小分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ挡，分别约为工件公差的 1/10、1/6 和 1/4。对于 IT6 ~ IT11，u_1 值分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ挡；对于 IT12 ~ IT18，u_1 值分为Ⅰ、Ⅱ两挡。一般情况下，优先选用Ⅰ挡，其次选用Ⅱ、Ⅲ挡。

表 4-57 ~ 表 4-59 给出了常用计量器具（游标卡尺、千分尺、比较仪、指示表等）测量的不确定度数值，计量器具的测量不确定度的允许值（u_1）约为测量不确定的 0.9 倍。按计量器具的测量不确定的允许值（u_1）选择计量器具时，应使选用的计量器具测量的不确定数值小于或等于选定的 u_1 值。

例： 被检验工件为 $\phi20h8\left(\begin{smallmatrix}0\\-0.033\end{smallmatrix}\right)$ 的轴，试确定验收极限，并选择适当的计量器具。

解： 由表 4-56 查得安全裕度 $A = 3.3\mu m$，可得

上验收极限 = (20 − 0.0033) mm ≈ 19.997mm；

表 4-56　安全裕度(A)与计量器具的测量不确定度允许值(u_1)　　　(单位：μm)

公差等级		6					7					8					9					10					11				
基本尺寸/mm		T	A	u_1			T	A	u_1			T	A	u_1			T	A	u_1			T	A	u_1			T	A	u_1		
大于	至			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
—	3	6	0.6	0.54	0.9	1.4	10	1.0	0.9	1.5	2.3	14	1.4	1.3	2.1	3.2	25	2.5	2.3	3.8	5.6	40	4.0	3.6	6.0	9.0	60	6.0	5.4	9.0	14
3	6	8	0.8	0.72	1.2	1.8	12	1.2	1.1	1.8	2.7	18	1.8	1.6	2.7	4.1	30	3.0	2.7	4.5	6.8	48	4.8	4.3	7.2	11	75	7.5	6.8	11	17
6	10	9	0.9	0.81	1.4	2.0	15	1.5	1.4	2.3	3.4	22	2.2	2.0	3.3	5.0	36	3.6	3.3	5.4	8.1	58	5.8	5.2	8.7	13	90	9.0	8.1	14	20
10	18	11	1.1	1.0	1.7	2.5	18	1.8	1.7	2.7	4.1	27	2.7	2.4	4.1	6.1	43	4.3	3.9	6.5	9.7	70	7.0	6.3	11	16	110	11	10	17	25
18	30	13	1.3	1.2	2.0	2.9	21	2.1	1.9	3.2	4.7	33	3.3	3.0	5.0	7.4	52	5.2	4.7	7.8	12	84	8.4	7.6	13	19	130	13	12	20	29
30	50	16	1.6	1.4	2.4	3.6	25	2.5	2.3	3.8	5.6	39	3.9	3.5	5.9	8.8	62	6.2	5.6	9.3	14	100	10	9.0	15	23	160	16	14	24	36
50	80	19	1.9	1.7	2.9	4.3	30	3.0	2.7	4.5	6.8	46	4.6	4.1	6.9	10	74	7.4	6.7	11	17	120	12	11	18	27	190	19	17	29	43
80	120	22	2.2	2.0	3.3	5.0	35	3.5	3.2	5.3	7.9	54	5.4	4.9	8.1	12	87	8.7	7.8	13	20	140	14	13	21	32	220	22	20	33	50
120	180	25	2.5	2.3	3.8	5.6	40	4.0	3.6	6.0	9.0	63	6.3	5.7	9.5	14	100	10	9.0	15	23	160	16	15	24	36	250	25	23	38	56
180	250	29	2.9	2.6	4.4	6.5	46	4.6	4.1	6.9	10	72	7.2	6.5	11	16	115	12	10	17	26	185	18	17	28	42	290	29	26	44	65
250	315	32	3.2	2.9	4.8	7.2	52	5.2	4.7	7.8	12	81	8.1	7.3	12	18	130	13	12	19	29	210	21	19	32	47	320	32	29	48	72
315	400	36	3.6	3.2	5.4	8.1	57	5.7	5.1	8.4	13	89	8.9	8.0	13	20	140	14	13	21	32	230	23	21	35	52	360	36	32	54	81
400	500	40	4.0	3.6	6.0	9.0	63	6.3	5.7	9.5	14	97	9.7	8.7	15	22	155	16	14	23	35	250	25	23	38	56	400	40	36	60	90

（续）

公差等级		12				13				14				15				16				17				18			
基本尺寸/mm		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1		*T*	*A*	u_1	
大于	至			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ			Ⅰ	Ⅱ
—	3	100	10	9.0	15	140	14	13	21	250	25	23	38	400	40	36	60	600	60	54	90	1000	100	90	150	1400	140	135	210
3	6	120	12	11	18	180	18	16	27	300	30	27	45	480	48	43	72	750	75	68	110	1200	120	110	180	1800	180	160	270
6	10	150	15	14	23	220	22	20	33	360	36	32	54	580	58	52	87	900	90	81	140	1500	150	140	230	2200	220	200	330
10	18	180	18	16	27	270	27	24	41	430	43	39	65	700	70	63	110	1100	110	100	170	1800	180	160	270	2700	270	240	400
18	30	210	21	19	32	330	33	30	50	520	52	47	78	840	84	76	130	1300	130	120	200	2100	210	190	320	3300	330	300	490
30	50	250	25	23	38	390	39	35	59	620	62	56	93	1000	100	90	150	1600	160	140	240	2500	250	220	380	3900	390	350	580
50	80	300	30	27	45	460	46	41	69	740	74	67	110	1200	120	110	180	1900	190	170	290	3000	300	270	450	4600	460	410	690
80	120	350	35	32	53	540	54	49	81	870	87	78	138	1400	140	130	210	2200	220	200	330	3500	350	320	530	5400	540	480	810
120	180	400	40	36	60	630	63	57	95	1000	100	90	150	1600	160	150	240	2500	250	230	380	4000	400	360	600	6300	630	570	940
180	250	460	46	41	69	720	72	65	110	1150	115	100	170	1850	180	170	280	2900	290	260	440	4600	460	410	690	7200	720	650	1080
250	315	520	52	47	78	810	81	73	120	1300	130	120	190	2100	210	190	320	3200	320	290	480	5200	520	470	780	8100	810	730	1210
315	400	570	57	51	86	890	89	80	130	1400	140	130	210	2300	230	210	350	3600	360	320	540	5700	570	510	850	8900	890	800	1330
400	500	630	63	57	95	970	97	87	150	1500	150	140	230	2500	250	230	380	4000	400	360	600	6300	630	570	950	9700	970	870	1450

注：*T* 为公差值。

下验收极限 =（20 − 0.033 + 0.0033）mm ≈ 19.970mm。

表 4-57 千分尺和游标卡尺的不确定度 （单位：mm）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">尺寸范围</th><th colspan="4">计量器具类型</th></tr>
<tr><th>分度值为 0.01mm 的外径千分尺</th><th>分度值为 0.01mm 的内径千分尺</th><th>分度值为 0.02mm 的游标卡尺</th><th>分度值为 0.05mm 的游标卡尺</th></tr>
<tr><th>大于</th><th>至</th><th colspan="4">不 确 定 度</th></tr>
<tr><td>0</td><td>50</td><td>0.004</td><td rowspan="3">0.008</td><td rowspan="6">0.020</td><td rowspan="4">0.050</td></tr>
<tr><td>50</td><td>100</td><td>0.005</td></tr>
<tr><td>100</td><td>150</td><td>0.006</td></tr>
<tr><td>150</td><td>200</td><td>0.007</td><td rowspan="3">0.013</td></tr>
<tr><td>200</td><td>250</td><td>0.008</td><td rowspan="8">0.100</td></tr>
<tr><td>250</td><td>300</td><td>0.009</td></tr>
<tr><td>300</td><td>350</td><td>0.010</td><td rowspan="3">0.020</td><td rowspan="7"></td></tr>
<tr><td>350</td><td>400</td><td>0.011</td></tr>
<tr><td>400</td><td>450</td><td>0.012</td></tr>
<tr><td>450</td><td>500</td><td>0.013</td><td>0.025</td></tr>
<tr><td>500</td><td>600</td><td></td><td rowspan="3">0.030</td></tr>
<tr><td>600</td><td>700</td><td></td></tr>
<tr><td>700</td><td>1000</td><td></td><td>0.150</td></tr>
</table>

注：当采用比较测量时，千分尺和游标卡尺的不确定度可减小至表中数值的 60%。

表 4-58 比较仪的不确定度 （单位：mm）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">尺寸范围</th><th colspan="4">所使用的计量器具</th></tr>
<tr><th>分度值为 0.0005（相当于放大倍数 2000 倍）的比较仪</th><th>分度值为 0.001（相当于放大倍数 1000 倍）的比较仪</th><th>分度值为 0.002（相当于放大倍数 500 倍）的比较仪</th><th>分度值为 0.005（相当于放大倍数 250 倍）的比较仪</th></tr>
<tr><th>大于</th><th>等于</th><th colspan="4">不 确 定 度</th></tr>
<tr><td></td><td>25</td><td>0.006</td><td rowspan="2">0.0010</td><td>0.0017</td><td rowspan="6">0.0030</td></tr>
<tr><td>25</td><td>40</td><td>0.007</td><td rowspan="3">0.0018</td></tr>
<tr><td>40</td><td>65</td><td rowspan="2">0.008</td><td rowspan="2">0.0011</td></tr>
<tr><td>65</td><td>90</td></tr>
<tr><td>90</td><td>115</td><td>0.0009</td><td>0.0012</td><td rowspan="2">0.0019</td></tr>
<tr><td>115</td><td>165</td><td>0.0010</td><td>0.0013</td></tr>
<tr><td>165</td><td>215</td><td>0.0012</td><td>0.0014</td><td>0.0020</td><td rowspan="3">0.0035</td></tr>
<tr><td>215</td><td>265</td><td>0.0014</td><td>0.0016</td><td>0.0021</td></tr>
<tr><td>265</td><td>315</td><td>0.0016</td><td>0.0017</td><td>0.0022</td></tr>
</table>

注：测量时，使用的标准器由四块 1 级（或 4 等）量块组成。

表 4-59 指示表的不确定度 （单位：mm）

<table>
<tr><td rowspan="2" colspan="2">尺寸范围</td><td colspan="4">计量器具类型</td></tr>
<tr><td>分度值为 0.001mm 的千分表（0 级在全程范围内）（1 级在 0.2mm 内）分度值为 0.002mm 的千分表在 1 转范围内</td><td>分度值为 0.001mm、0.002mm、0.005mm 的千分表（1 级在全程范围内）分度值为 0.01mm 的百分表（0 级在任意 1mm 内）</td><td>分度值为 0.01mm 的百分表（0 级在全程范围内）（1 级在任意 1mm 内）</td><td>分度值为 0.01mm 的千分表（1 级在全程范围内）</td></tr>
<tr><td>大于</td><td>至</td><td colspan="4">不 确 定 度</td></tr>
<tr><td></td><td>25</td><td rowspan="5">0.005</td><td rowspan="9">0.010</td><td rowspan="9">0.018</td><td rowspan="9">0.030</td></tr>
<tr><td>25</td><td>40</td></tr>
<tr><td>40</td><td>65</td></tr>
<tr><td>65</td><td>90</td></tr>
<tr><td>90</td><td>115</td></tr>
<tr><td>115</td><td>165</td><td rowspan="4">0.006</td></tr>
<tr><td>165</td><td>215</td></tr>
<tr><td>215</td><td>265</td></tr>
<tr><td>265</td><td>315</td></tr>
</table>

注：测量时，使用的标准器由四块 1 级（或 4 等）量块组成。

由表 4-56 按优先选用 Ⅰ 挡的原则，查得测量器具不确定度的允许值 $u_1 = 30\mu m$，由表 4-58 查得放大倍数为 500 倍的比较仪的不确定度为 0.0017mm，小于 u_1（0.003mm），可以满足要求。

（2）按测量方法的精度系数选择计量器具

测量方法的精度系数 K 就是指测量方法的不确定度与被测零件公差的比值，即

$$K = \frac{\text{测量的不确定度 } u}{\text{被测零件的公差值 } T}$$

由上式可知，在公差值一定的条件下，测量方法精度系数 K 值越小，说明要求采用的测量方法的误差也越小，也就是要求测量方法的精度越高。

按测量方法的精度系数 K 来选择计量器具，K 可取 1/3 ~ 1/10。一般情况下，K 值取 1/5；对于精度较高的零件，由于公差值较小，故测量方法误差占零件公差值的比例可大一些，取 K 值接近或等于 1/3，以利于计量器具的选择；对于精度较低的零件，测量方法误差占的比例可小一些，K 值取 1/10。通常，可根据零件精度的高低，来选择相应的测量方法精度系数 K（见表 4-60）。

表 4-60 测量方法精度系数 *K*

<table>
<tr><td rowspan="2">被测参数
公差等级</td><td>轴</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8 ~ 9</td><td>10</td><td>11</td><td>12 ~ 16</td></tr>
<tr><td>孔</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12 ~ 16</td></tr>
<tr><td colspan="2">精度系数 K（%）</td><td>32.5</td><td>30</td><td>27.5</td><td>25</td><td>20</td><td>15</td><td>10</td></tr>
</table>

第 5 章　加工余量与切削用量

5.1　加工余量

加工余量有加工总余量和工序余量。加工总余量是指从毛坯到成品零件的整个工艺过程中所切除材料层的总厚度，工序余量是指完成某一工序时需切除材料层的厚度。本章主要介绍工序余量。

5.1.1　工序余量的确定方法

工序余量是工件某一表面相邻两工序尺寸之差，即在一道工序中切除的材料层厚度。在制订零件工艺过程中，根据各工序的加工性质来确定每道工序的加工余量，然后可计算出各工序的工序尺寸。但由于加工中各工序尺寸都有公差，故实际切去的余量是变化的。因此，加工余量就有基本余量（即通常所说的加工余量）、最大加工余量和最小加工余量，见图 5-1。图中：

L_1——本工序工序尺寸（mm）；

δ_1——本工序工序公差（mm）；

Z_1——本工序加工余量（mm）；

δ_{Z1}——本工序加工余量公差（mm）；

Z_{1max}——本工序最大加工余量（mm）；

Z_{1min}——本工序最小加工余量（mm）；

L_2——上工序工序尺寸（mm）；

δ_2——上工序工序公差（mm）。

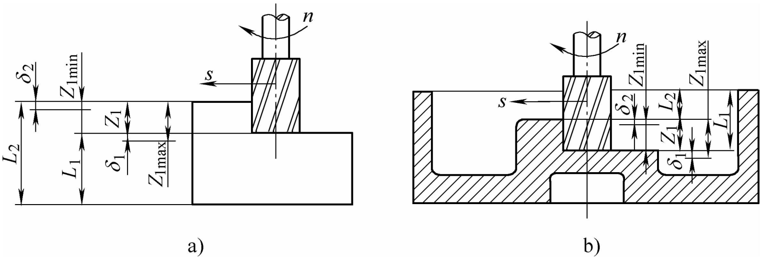


图 5-1　基本余量、最大加工余量和最小加工余量

a）外表面加工　b）内表面加工

即无论是加工外表面（见图 5-1a）还是加工内表面（见图 5-1b），都可得出：

$$Z_1 = Z_{1min} + \delta_2,\ Z_1 = Z_{1max} - \delta_1$$

则　$$\delta_{Z1} = Z_{1max} - Z_{1min} = \delta_1 + \delta_2$$

即本工序加工余量的公差等于本工序尺寸公差与上工序尺寸公差之和，也就是本工序加工余量变化的范围。

由于零件机械加工过程中的影响因素很多，因此，用查表法或经验加查表法确定加工余量在生产中应用十分广泛。在用查表法确定工序余量时，必须考虑下述因素：

1）为缩短加工工时、降低成本，应采用最小的加工余量。

2）应考虑所采用的加工方法、设备以及加工过程中零件可能产生的变形以及零件热处理引起的变形。

3）应保证能够得到图样上规定的精度和表面质量。

4）应能保证切除上工序产生的表面粗糙度值 Ra 和表面缺陷层深度 H_a（见图 5-2）。Ra

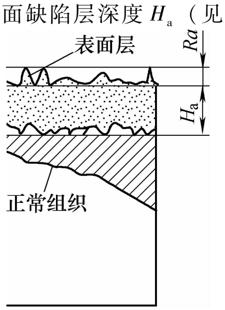


图 5-2　表面粗糙度值 Ra 和表面缺陷层深度 H_a

和 H_a 的大小与加工方法有关。表5-1所示为几种加工方法的表面粗糙度值 *Ra* 和表面缺陷层深度 H_a 值。

表5-1　几种加工方法的表面粗糙度值 *Ra* 和表面缺陷层深度 H_a 值

（单位：μm）

加工方法	*Ra*	H_a
钻	45～225	40～60
粗扩孔	25～225	40～60
精扩孔	25～100	30～40
粗铰	25～100	25～30
精铰	5.5～25	10～20
粗镗	25～225	30～50
精镗	5～25	25～40
粗刨	15～100	40～50
精刨	5～45	25～40
粗插	25～100	50～60
精插	5～45	35～50
粗铣	15～225	40～60
精铣	5～45	25～40
切断	45～225	60

5）应使本工序的余量大于上工序的尺寸公差和几何公差。

6）应考虑去除上工序留下的各表面间的相互位置误差以及不包含在尺寸公差内的某些形状误差（如表面的平面度、倾斜度等）。

7）本工序的安装误差包括定位误差、夹紧误差以及夹具本身的误差。由于这部分误差影响被加工表面与刀具的相对位置，因此要计入加工余量之内。

8）工件尺寸越大，加工余量也越大。因为尺寸增大后，由切削力、内应力等引起变形的可能性也会增大。

5.1.2　几种表面及其加工方法的加工余量

1. 平面的加工余量

（1）平面第一次粗加工余量（见表5-2）

（2）平面粗加工后精铣的加工余量（见表5-3）

（3）平面粗刨后精铣的加工余量（见表5-4）

（4）铣平面的加工余量（见表5-5）

（5）铣槽的加工余量（见表5-6）

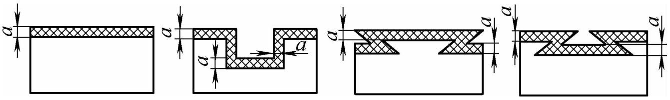
2. 孔的加工余量

（1）基孔制7级精度（H7）孔的加工余量（见表5-7）

表5-2　平面第一次粗加工余量　　（单位：mm）

平面最大尺寸	毛坯制造方法					
	铸件			热冲压	冷冲压	锻造
	灰铸铁	青铜	可锻铸铁			
≤50	1.0～1.5	1.0～1.3	0.8～1.0	0.8～1.1	0.6～0.8	1.0～1.4
50～120	1.5～2.0	1.3～1.7	1.0～1.4	1.3～1.8	0.8～1.1	1.4～1.8
120～260	2.0～2.7	1.7～2.2	1.4～1.8	1.5～1.8	1.0～1.4	1.5～2.5
260～500	2.7～3.5	2.2～3.0	2.0～2.5	1.8～2.2	1.3～1.8	2.2～3.0
>500	4.0～6.0	3.5～4.5	3.0～4.0	2.4～3.0	2.0～2.6	3.5～4.5

表5-3　平面粗加工后精铣的加工余量　　（单位：mm）



加工性质	加工面长度	加工面宽度					
		≤100		>100～300		>300～1000	
		余量 *a*	公差（+）	余量 *a*	公差（+）	余量 *a*	公差（+）
粗加工后精铣	≤300	1.0	0.3	1.5	0.5	2	0.7
	>300～1000	1.5	0.5	2	0.7	2.5	1.0
	>1000～2000	2	0.7	2.5	1.2	3	1.2

注：几个零件同时加工时，长度及宽度为装置在一起的各零件长度或宽度及各零件间的间隙总和。

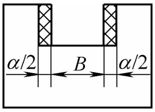
表 5-4 平面粗刨后精铣的加工余量 （单位：mm）

平面长度	平面宽度		
	≤100	100～200	>200
≤100	0.6～0.7	—	—
100～250	0.6～0.8	0.7～0.9	—
250～500	0.7～1.0	0.75～1.0	0.8～1.1
>500	0.8～1.0	0.9～1.2	0.9～1.2

表 5-5 铣平面的加工余量 （单位：mm）

零件厚度	荒铣后粗铣						粗铣后半精铣					
	宽度≤200			200<宽度<400			宽度≤200			200<宽度<400		
	平面长度											
	≤100	100～250	250～400	≤100	100～250	250～400	≤100	100～250	250～400	≤100	100～250	250～400
6～30	1.0	1.2	1.5	1.2	1.5	1.7	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
30～50	1.0	1.5	1.7	1.5	1.5	2.0	1.0	1.0	1.2	1.0	1.2	1.2
>50	1.5	1.7	2.0	1.7	2.0	2.5	1.0	1.3	1.5	1.3	1.5	1.5

表 5-6 铣槽加工余量 （单位：mm）



槽宽 *B*	<10	<18	<30	<50
加工余量 *a*	1	1.5	2	3
公差	0.20	0.20	0.30	0.30

注：本表适用于槽长<80mm、槽深<60mm的槽。

表 5-7 基孔制 7 级精度（H7）孔的加工余量 （单位：mm）

零件基本尺寸	钻 第一次	钻 第二次	用镗刀镗以后	扩孔钻	粗铰	精铰	零件基本尺寸	钻 第一次	钻 第二次	用镗刀镗以后	扩孔钻	粗铰	精铰
3	2.9	—	—	—	—	3H7	30	15.0	28	29.8	29.8	29.93	30H7
4	3.9	—	—	—	—	4H7	32	15.0	30.0	31.7	31.75	31.93	32H7
5	4.8	—	—	—	—	5H7	35	20.0	33.0	34.7	34.75	34.93	35H7
6	5.8	—	—	—	—	6H7	38	20.0	36.0	37.7	37.75	37.93	38H7
8	7.8	—	—	—	7.96	8H7	40	25.0	38.0	39.7	39.75	39.93	40H7
10	9.8	—	—	—	9.96	10H7	42	25.0	40.0	41.7	41.75	41.93	42H7
12	11.0	—	—	11.85	11.95	12H7	45	25.0	43.0	44.7	44.75	44.93	45H7
13	12.0	—	—	12.85	12.95	13H7	48	25.0	46.0	47.7	47.75	47.93	48H7
14	13.0	—	—	13.85	13.95	14H7	50	25.0	48.0	49.7	49.75	49.93	50H7
15	14.0	—	—	14.85	14.95	15H7	60	30	55.0	59.5	59.5	59.9	60H7
16	15.0	—	—	15.85	15.95	16H7	70	30	65.0	69.5	69.5	69.9	70H7
18	17.0	—	—	17.85	17.94	18H7	80	30	75.0	79.5	79.5	79.9	80H7
20	18.0	—	19.8	19.8	19.94	20H7	90	30	80.0	89.3	—	89.9	90H7
22	20	—	21.8	21.8	21.94	22H7	100	30	80.0	99.3	—	99.8	100H7
24	22	—	23.8	23.8	23.94	24H7	120	30	80.0	119.3	—	119.8	120H7
25	23	—	24.8	24.8	24.94	25H7	140	30	80.0	139.3	—	139.8	140H7
26	24	—	25.8	25.8	25.94	26H7	160	30	80.0	159.3	—	159.8	160H7
28	26	—	27.8	27.8	27.94	28H7	180	30	80.0	179.3	—	179.8	180H7

注：1. 在铸铁上加工直径小于15mm的孔时，不用扩孔钻和镗孔。

2. 在铸铁上加工直径为30mm与32mm的孔时，仅用直径为28mm与30mm的钻头各钻一次。

3. 如仅用一次铰孔，则铰孔的加工余量为本表中粗铰与精铰的加工余量之和。

（2）基孔制 8 级精度（H8）孔的加工余量（见表 5-8）

（3）基孔制 7 级、8 级、9 级（H7、H8、H9）预先铸出或冲出孔的加工余量（见表 5-9）

表 5-8 基孔制 8 级精度（H8）孔的加工余量 （单位：mm）

零件基本尺寸	直径				
	钻		用镗刀镗以后	扩孔钻	铰
	第一次	第二次			
3	2.9	—	—	—	3H8
4	3.9	—	—	—	4H8
5	4.8	—	—	—	5H8
6	5.8	—	—	—	6H8
8	7.8	—	—	—	8H8
10	9.8	—	—	—	10H8
12	11.8	—	—	—	12H8
13	12.8	—	—	—	13H8
14	13.8	—	—	—	14H8
15	14.8	—	—	—	15H8
16	15.0	—	—	15.85	16H8
18	17.0	—	—	17.85	18H8
20	18.0	—	19.8	19.8	20H8
22	20.0	—	21.8	21.8	22H8
24	22.0	—	23.8	23.8	24H8
25	23.0	—	24.8	24.8	25H8
26	24.0	—	25.8	25.8	26H8
28	26.0	—	27.8	27.8	28H8
30	15.0	28	29.8	29.8	30H8
32	15.0	30	31.7	31.75	32H8
35	20.0	33	34.7	34.75	35H8
38	20.0	36	37.7	37.75	38H8
40	25.0	38	39.7	39.75	40H8
42	25.0	40	41.7	41.75	42H8
45	25.0	43	44.7	44.75	45H8
48	25.0	46	47.7	47.75	48H8
50	25.0	48	49.7	49.75	50H8
60	30.0	55	59.5	—	60H8
70	30.0	65	69.5	—	70H8
80	30.0	75	79.5	—	80H8
90	30.0	80.0	89.3	—	90H8
100	30.0	80.0	99.3	—	100H8
120	30.0	80.0	119.3	—	120H8
140	30.0	80.0	139.3	—	140H8
160	30.0	80.0	159.3	—	160H8
180	30.0	80.0	179.3	—	180H8

注：在铸铁上加工直径为 30mm 与 32mm 的孔时，仅用直径为 28mm 与 30mm 的钻头各钻一次。

表 5-9 基孔制 7 级、8 级、9 级（H7、H8、H9）预先铸出或冲出孔的加工余量

（单位：mm）

加工孔的直径	直径					
	粗镗		精镗		粗铰	精铰 H7 或 H9
	第一次	第二次	镗以后的直径	按 H11 公差		
30		28.0	29.8	+0.13	29.93	30
32		30.0	31.7	+0.16	31.93	32
35		33.0	34.7	+0.16	34.93	35
38		36.0	37.7	+0.16	37.93	38
40		38.0	39.7	+0.16	39.93	40
42		40.0	41.7	+0.16	41.93	42
45		43.0	44.7	+0.16	44.93	45
48		46.0	47.7	+0.16	47.93	48
50	45	48.0	49.7	+0.19	49.93	50
52	47	50.0	51.5	+0.19	51.92	52
55	51	53.0	54.5	+0.19	54.92	55
58	54	56.0	57.5	+0.19	57.92	58
60	56	58.0	59.5	+0.19	59.92	60
62	58	60.0	61.5	+0.19	61.92	62
65	61	63.0	64.5	+0.19	64.92	65
68	64	66.0	67.5	+0.19	67.90	68
70	66	68.0	69.5	+0.19	69.90	70
72	68	70.0	71.5	+0.19	71.90	72
75	71	73.0	74.5	+0.19	74.90	75
78	74	76.0	77.5	+0.19	77.90	78
80	75	78.0	79.5	+0.19	79.90	80
82	77	80.0	81.3	+0.22	81.85	82
85	80	83.0	84.3	+0.22	84.85	85
88	83	86.0	87.3	+0.22	87.85	88
90	85	88.0	89.3	+0.22	89.85	90
92	87	90.0	91.3	+0.22	91.85	92
95	90	93.0	94.3	+0.22	94.85	95
98	93	96.0	97.3	+0.22	97.85	98
100	95	98.0	99.3	+0.22	99.85	100
105	100	103.0	104.3	+0.22	104.8	105

（续）

加工孔的直径	粗镗 第一次	粗镗 第二次	精镗 镗以后的直径	精镗 按H11公差	粗铰	精铰H7或H9	加工孔的直径	粗镗 第一次	粗镗 第二次	精镗 镗以后的直径	精镗 按H11公差	粗铰	精铰H7或H9
110	105	108.0	109.3	+0.22	109.8	110	190	185	188.0	189.3	+0.29	189.8	190
115	110	113.0	114.3	+0.22	114.8	115	195	190	193.0	194.3	+0.29	194.8	195
120	115	118.0	119.3	+0.22	119.8	120	200	194	197.0	199.3	+0.29	199.8	200
125	120	123.0	124.3	+0.25	124.8	125	210	204	207.0	209.3	+0.29	209.8	210
130	125	128.0	129.3	+0.25	129.8	130	220	214	217.0	219.3	+0.29	219.8	220
135	130	133.0	134.3	+0.25	134.8	135	250	244	247.0	249.3	+0.29	249.8	250
140	135	138.0	139.3	+0.25	139.8	140	280	274	277.0	279.3	+0.32	279.8	280
145	140	143.0	144.3	+0.25	144.8	145	300	294	297.0	299.3	+0.32	299.8	300
150	145	148.0	149.3	+0.25	149.8	150	320	314	317.0	319.3	+0.36	319.8	320
155	150	153.0	154.3	+0.25	154.8	155	350	342	347.0	349.3	+0.36	349.8	350
160	155	158.0	159.3	+0.25	159.8	160	380	372	377.0	479.2	+0.36	379.75	380
165	160	163.0	164.3	+0.25	164.8	165	400	392	397.0	399.2	+0.36	399.75	400
170	165	168.0	169.3	+0.25	169.8	170	420	412	417.0	419.2	+0.40	419.75	420
175	170	173.0	174.3	+0.25	174.8	175	450	442	447.0	449.2	+0.40	449.75	450
180	175	178.0	179.3	+0.25	179.8	180	480	472	477.0	479.2	+0.40	479.75	480
185	180	183.0	184.3	+0.29	184.8	185	500	492	497.0	499.2	+0.40	499.75	500

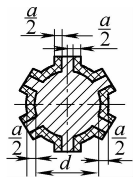
注：1. 如铸出的孔有很大的加工余量时，第一次粗镗可以分成两次或多次。

2. 仅用一次铰孔时，铰孔的加工余量为本表中粗铰与精铰的加工余量的总和。

3. 镗直径大于500mm的孔时，所用的工序间加工余量与直径500mm的孔相同。

3. 精铣花键的加工余量（见表5-10）

表5-10 精铣花键的加工余量 （单位：mm）



花键轴的公称直径 d	花键的长度 ≤100	花键的长度 >100~200	花键的长度 >200~350	花键的长度 >350~500	花键轴的公称直径 d	花键的长度 ≤100	花键的长度 >100~200	花键的长度 >200~350	花键的长度 >350~500
	余量 a					余量 a			
10~18	0.4~0.6	0.5~0.7			>30~50	0.6~0.8	0.7~0.9	0.8~1.0	
>18~30	0.5~0.7	0.6~0.8	0.7~0.9		>50	0.7~0.9	0.8~1.0	0.9~1.2	1.2~1.5

5.2 切削用量的选择

5.2.1 切削用量的选择原则

合理地选择切削用量，对保证加工质量、提高生产率和降低加工成本有非常重要的影响。然而，随着机床、刀具和工件等条件的变化，切削用量的合理值有着较大的变化。切削用量的合理值是指在充分发挥机床、刀具的性能、保证加工质量的前提下，获得高生产率和

低的加工成本的切削用量值。

选择切削用量时，必须要考虑它对刀具寿命、生产率和已加工表面质量的影响，最后选定切削用量的合理值。

1. 切削用量对刀具寿命的影响

由 2.1.4 节中给出的有关切削用量对刀具寿命影响的试验公式：

$$T=\frac{C_T}{v_c^5 f^{2.25} a_p^{0.75}}$$

式中 T——刀具寿命（min）；

C_T——与工件、刀具材料及切削条件有关的常数。

可见，对刀具寿命影响最大的是切削速度 v_c，其次是进给量 f，最小的是背吃刀量 a_p。因此，从延长刀具寿命方面考虑，应首先选择最大的 a_p，再选大的大的 f，最后按已确定的刀具寿命，选定允许的 v 值。这也是粗加工时选择切削用量的原则。

2. 切削用量与加工生产率的关系

铣削加工中，切削用量与加工生产率的关系如下：

圆柱铣削：$t_m=\dfrac{l+l_1+l_2}{v_f}\dfrac{a}{a_e}$

端面铣削：$t_m=\dfrac{l+l_1+l_2}{v_f}\dfrac{a}{a_p}$

式中 t_m——切削时间（min）；

l——工件加工表面长度（mm）；

l_1——铣刀切入工件距离（mm），其计算见表 5-11；

l_2——铣刀切出工件距离，一般为 1 ~ 5mm；

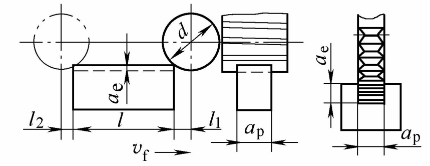
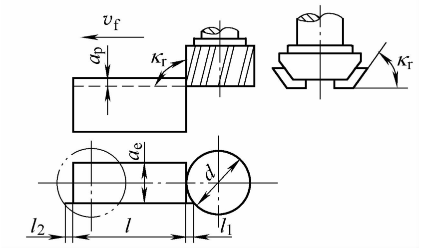
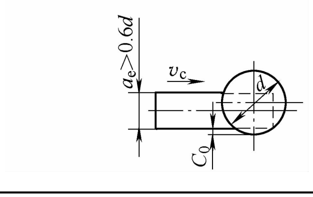
a——总加工余量（mm）；

a_e——铣削宽度（侧吃刀量）（mm）；

a_p——铣削深度（背吃刀量）（mm）；

v_f——工作台水平进给量（mm/min）。

表 5-11 铣削切入工件距离 l_1 的计算

圆柱铣刀铣平面、三面刃铣刀铣槽 	$l_1=\sqrt{a_e(d-a_e)}+(1\sim3)$ $l_2=2\sim5$
面铣刀铣平面(对称铣削) 	当主偏角 $\kappa_r=90°$时 $l_1=0.5(d-\sqrt{d^2-a_e^2})+(1\sim3)$ 当主偏角 $\kappa_r<90°$时 $l_1=0.5(d-\sqrt{d^2-a_e^2})+\dfrac{a_p}{\tan\kappa_r}+(1\sim2)$ $l_2=1\sim3$
面铣刀铣平面(不对称铣削) 	$l_1=0.5d-\sqrt{C_0(d-C_0)}+(1\sim3)$ $C_0=(0.03\sim0.05)d$ $l_2=3\sim5$ l_1、l_2 的含义参照上图

由上可见，增大背吃刀 a_p、侧吃刀量 a_e，增大进给量 v_f 和提高切削速度 v_c，都可以减少切削时间、提高生产率。

3. 切削用量对加工表面粗糙度的影响

切削速度增大至一定值后（见图 2-21），可抑制积屑瘤，减小切削变形和切削力，有利于减小表面粗糙度值；背吃刀量 a_p 增大后，易引起振动，会增大表面粗糙度值；进给量 f 直接影响已加工表面残留面积高度，因而对表面粗糙度值影响最大，在选择精加工切削用量时必须予以注意。

总之，粗加工的切削用量应尽可能发挥机床、刀具的能力和保证合理的刀具寿命，以减少切削时间，提高生产率；精加工的切削用量则首先要保证工件的加工精度和表面粗糙度值，然后兼顾合理的刀具寿命和生产率。

5.2.2 铣削用量的选择

选择铣削用量时，首先应确定铣刀的种类和直径，然后选择背吃刀量 a_p（面铣刀）或侧吃刀量 a_e（圆柱铣刀），接着选择进给量 f，最后选择切削速度 v_c。

（1）铣刀直径的选择　铣削加工时，一般情况下应选用较小直径的铣刀。因为铣刀直径越大，切削力矩也越大，容易产生切削振动，同时铣刀切入工件的长度也大，降低了铣削效率。此外，圆盘铣刀的直径越大，安装后的轴向圆跳动就越大，会影响加工精度。但是，对于刚性和强度较差的带柄立铣刀，则应尽可能选取较大的直径，以增强铣刀的刚性。

铣刀直径的确定一般可按铣削宽度 a_e 或铣削背吃刀量 a_p，并按下式计算：

$$d_0 = (1.4 \sim 1.6)a_e\text{（面铣刀）}$$

$$d_0 = 2(a_p + h) + d_1\text{（圆柱铣刀）}$$

式中　d_0——铣刀直径（mm）；

d_1——刀杆垫圈外径（mm）；

h——工件表面与夹具之间的距离（mm）。

铣刀直径参考值见表 5-12。

表 5-12　铣刀直径参考值　　（单位：mm）

参　数	高速钢圆柱铣刀			硬质合金面铣刀					
铣削深度 a_p	≤70	约 90	约 100	≤4	约 5	约 6	约 6	约 8	约 10
铣削宽度 a_e	≤5	约 8	约 10	≤60	约 90	约 120	约 180	约 260	约 350
铣刀直径 d_0	~80	80 ~ 100	100 ~ 125	~80	100 ~ 125	160 ~ 200	200 ~ 250	315 ~ 400	400 ~ 500

参　数	圆盘铣刀				切槽铣刀及切断铣刀			
铣削深度 a_p	≤8	约 12	约 20	约 40	≤5	约 10	约 12	约 25
铣削宽度 a_e	约 20	约 25	约 35	约 50	≤4	≤4	约 5	约 10
铣刀直径 d_0	约 80	80 ~ 100	100 ~ 160	160 ~ 200	约 63	63 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 125

（2）背吃刀量 a_p 或侧吃刀量 a_e 的选择　对于面铣刀，是确定背吃刀量 a_p（侧吃刀量 a_e 等于工件宽度）；对于圆柱铣刀，是确定侧吃刀量 a_e（背吃刀量 a_p 等于工件宽度）。当工件精度要求不高、表面粗糙度值为 $Ra50 \sim 12.5\mu m$、加工余量不大时，应尽量一次走刀切除全部加工余量；当加工余量大于 8mm 或工艺系统刚性不足时，可分为两次或多次走刀铣削，但第一刀的吃刀量应尽可能大些，以便于刀尖避开铸、锻件的硬皮。通常，中型铣床铣削钢料时为 3 ~ 5mm，铣削铸铁时为 5 ~ 7mm。当加工余量大时，还可以采用阶梯铣削进行粗铣加工。

图 5-3 所示为用阶梯铣刀进行阶梯铣削的原理图。阶梯铣刀的刀齿分布在不同的半径上（$R_1 > R_2 > R_3$），并且各齿在轴向伸出的距离也不相同（$a_{p1} > a_{p2} > a_{p3}$）。阶梯铣刀既可以在一次走刀中切除较大的余量，又可以切出窄而厚的切屑，有利于排屑、降低切削力，减少振动和功率消耗，但阶梯铣刀刃磨较为困难。

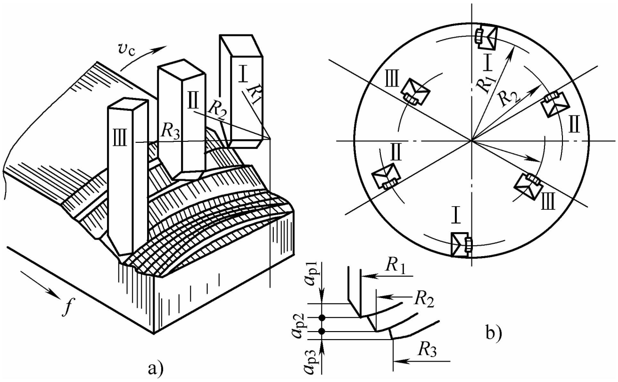


图5-3　用阶梯铣刀进行阶梯铣削的原理图

a）阶梯铣削的型式　b）刀齿的分布情况

当工件精度要求较高或表面粗糙度值要求为 Ra3.2～6.3μm 时，应分为粗铣和半精铣进行铣削。粗铣后留半精铣余量0.5～1mm。

当工件精度要求高或表面粗糙度值要求为 Ra1.6～3.2μm 时，可分为粗铣、半精铣和精铣三步铣削。半精铣余量为1.5～2mm，精铣余量为0.5mm左右。

（3）每齿进给量 f_z 的选择　粗铣时，f_z 的选择主要受切削力的限制。在工艺系统刚性好、刀具强度足够时，f_z 应尽量选大些；半精铣、精铣时，f_z 受加工表面粗糙度的限制。一般地，表面粗糙度值越小时，f_z 应相应减小。

（4）铣削速度 v_c 的选择　在背吃刀量 a_p 或侧吃刀量 a_e 及每齿进给量 f_z 确定以后，应在保证刀具寿命的条件下，选择适当的铣削速度 v_c。

粗铣时，在铣床功率和工艺系统刚性允许的条件下选择较大值，以提高生产率。

精铣时，为了提高表面质量、抑制积屑瘤的产生，硬质合金铣刀可采用较高的铣削速度；高速钢铣刀则采用较低的切削速度，但应避开产生积屑瘤的速度区域。

由于精铣时的吃刀量 a_p 或 a_e、每齿进给量 f_z 都比粗铣时小，在其他条件相同的情况下（如刀具材料等），精铣的切削速度应高于粗铣的切削速度。

在实际生产中，目前多用查表法来选择切削用量。

5.2.3　铣削用量

1. 高速钢面铣刀、圆柱铣刀和圆盘铣刀铣削时的进给量（见表5-13）

表5-13　高速钢面铣刀、圆柱铣刀和圆盘铣刀铣削时的进给量

（1）粗铣时每齿进给量 f_z/(mm/z)

铣床（铣头）功率/kW	工艺系统刚度	粗齿和镶齿铣刀				细齿铣刀			
		面铣刀与圆盘形铣刀		圆柱形铣刀		面铣刀与圆盘形铣刀		圆柱形铣刀	
		钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金
>10	大	0.2～0.3	0.3～0.45	0.25～0.35	0.35～0.50	—	—	—	—
	中	0.15～0.25	0.25～0.40	0.20～0.30	0.30～0.40				
	小	0.10～0.15	0.20～0.25	0.15～0.20	0.25～0.30				
5～10	大	0.12～0.20	0.25～0.35	0.15～0.25	0.25～0.35	0.08～0.12	0.20～0.35	0.10～0.15	0.12～0.20
	中	0.08～0.15	0.20～0.30	0.12～0.20	0.20～0.30	0.06～0.10	0.15～0.30	0.06～0.10	0.10～0.15
	小	0.06～0.10	0.15～0.25	0.10～0.15	0.12～0.20	0.04～0.08	0.10～0.20	0.06～0.08	0.08～0.12

（续）

（1）粗铣时每齿进给量 f_z/(mm/z)

铣床（铣头）功率/kW	工艺系统刚度	粗齿和镶齿铣刀				细齿铣刀			
		面铣刀与圆盘形铣刀		圆柱形铣刀		面铣刀与圆盘形铣刀		圆柱形铣刀	
		钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金	钢	铸铁及铜合金
<5	中	0.04~0.06	0.15~0.30	0.10~0.15	0.12~0.20	0.04~0.06	0.12~0.20	0.05~0.08	0.06~0.12
	小	0.04~0.06	0.10~0.20	0.06~0.10	0.10~0.15	0.04~0.06	0.08~0.15	0.03~0.06	0.05~0.10

（2）半精铣时每转进给量 f/(mm/r)

要求表面粗糙度 Ra/μm	镶齿面铣刀和圆盘铣刀	圆柱形铣刀					
		铣刀直径 d_0/mm					
		40~80	100~125	160~250	40~80	100~125	160~250
		钢及铸钢			铸铁、铜及铝合金		
6.3	1.2~2.7	—					
3.2	0.5~1.2	1.0~2.7	1.7~3.8	2.3~5.0	1.0~2.3	1.4~3.0	1.9~3.7
1.6	0.23~0.5	0.6~1.5	1.0~2.1	1.3~2.8	0.6~1.3	0.8~1.7	1.1~2.1

注：1. 表中的大进给量用于小的背吃刀量和铣削宽度，小进给量用于大的背吃刀量和铣削宽度。
　　2. 铣削耐热钢时，进给量与铣削钢时相同，但不大于 0.3mm/z。

2. 高速钢立铣刀、角度铣刀、半圆铣刀、切槽铣刀和切断铣刀铣削钢的进给量(见表 5-14)

表 5-14　高速钢立铣刀、角度铣刀、半圆铣刀、切槽铣刀和切断铣刀铣削钢的进给量

铣刀直径 d_0/mm	铣刀类型	铣削宽度 a_c/mm								
		3	5	6	8	10	12	15	20	30
		每齿进给量 f_z/(mm/z)								
16	立铣刀	0.08~0.05	0.06~0.05	—						
20		0.10~0.06	0.07~0.04	—	—	—	—	—	—	—
25		0.12~0.07	0.09~0.05	0.08~0.04						
32	立铣刀	0.16~0.10	0.12~0.07	0.10~0.05	—	—	—	—	—	—
	半圆铣刀和角度铣刀	0.08~0.04	0.07~0.05	0.06~0.04						
40	立铣刀	0.20~0.12	0.14~0.08	0.12~0.07	0.08~0.05					
	半圆铣刀和角度铣刀	0.09~0.05	0.07~0.05	0.06~0.03	0.06~0.03	—	—	—	—	—
	切槽铣刀	0.009~0.005	0.007~0.003	0.01~0.007	—					

（续）

铣刀直径 d_0/mm	铣刀类型	铣削宽度 a_c/mm								
		3	5	6	8	10	12	15	20	30
		每齿进给量 f_z/(mm/z)								
50	立铣刀	0.25~0.15	0.15~0.10	0.13~0.08	0.10~0.07	—	—	—	—	—
	半圆铣刀和角度铣刀	0.1~0.06	0.08~0.05	0.07~0.04	0.06~0.03					
	切槽铣刀	0.01~0.006	0.008~0.004	0.012~0.008	0.012~0.008					
63	半圆铣刀和角度铣刀	0.10~0.06	0.08~0.05	0.07~0.04	0.06~0.04	0.05~0.03	—	—	—	—
	切槽铣刀	0.013~0.008	0.01~0.005	0.015~0.01	0.015~0.01	0.015~0.01				
	切断铣刀	—	—	0.025~0.015	0.022~0.012	0.02~0.01				
80	半圆铣刀和角度铣刀	0.12~0.08	0.10~0.06	0.09~0.05	0.07~0.05	0.06~0.04	0.06~0.03	—	—	—
	切槽铣刀	—	0.015~0.005	0.025~0.01	0.022~0.01	0.02~0.01	0.017~0.008	0.015~0.007	—	—
	切断铣刀	—	—	0.03~0.15	0.027~0.012	0.025~0.01	0.022~0.01	0.02~0.01	—	—
100	半圆铣刀和角度铣刀	0.12~0.07	0.12~0.05	0.11~0.05	0.10~0.05	0.09~0.04	0.08~0.04	0.07~0.03	0.05~0.03	—
	切断铣刀	—	—	0.03~0.02	0.028~0.016	0.027~0.015	0.023~0.015	0.022~0.012	0.023~0.013	—
125	切断铣刀	—	—	0.03~0.025	0.03~0.02	0.03~0.02	0.025~0.02	0.025~0.02	0.025~0.015	0.02~0.01
160				—	—	—	—	0.03~0.02	0.025~0.015	0.02~0.01

注：1. 铣削铸铁、铜及铝合金时，进给量可增加30%～40%。

2. 表中半圆铣刀的进给量适用于凸半圆铣刀；对于凹半圆铣刀，进给量应减少40%。

3. 在铣削宽度小于5mm时，切槽铣刀和切断铣刀采用细齿；铣削宽度大于5mm时，采用粗齿。

3. 硬质合金面铣刀、圆柱铣刀和圆盘铣刀铣削平面和凸台的进给量(见表5-15)

表5-15 硬质合金面铣刀、圆柱形铣刀和圆盘铣刀铣削平面和凸台的进给量

机床功率/kW	钢		铸铁及铜合金	
	每齿进给量 f_z/(mm/z)			
	YT15	YT5	YG6	YG8
5~10	0.09~0.18	0.12~0.18	0.14~0.24	0.20~0.29

（续）

机床功率/kW	钢		铸铁及铜合金	
	每齿进给量 f_z/(mm/z)			
	YT15	YT5	YG6	YG8
>10	0.12~0.18	0.16~0.24	0.18~0.28	0.25~0.38

注：1. 表列数值用于圆柱铣刀背吃刀量 $a_p \leqslant 30$mm；当 $a_p > 30$mm 时，进给量应减少 30%。
2. 用圆盘铣刀铣槽时，表列进给量应减小一半。
3. 用端铣刀铣削时，对称铣时进给量取小值；不对称铣时进给量取大值。主偏角大时取小值；主偏角小时取大值。
4. 铣削材料的强度或硬度大时，进给量取小值；反之取大值。
5. 上述进给量用于粗铣，精铣时铣刀的每转进给量按下表选择：

要求达到的表面粗糙度值 Ra/μm	3.2	1.6	0.8	0.4
每转进给量/(mm/r)	0.5~1.0	0.4~0.6	0.2~0.3	0.15

4. 硬质合金立铣刀铣削平面和凸台的进给量(见表 5-16)

表 5-16 硬质合金立铣刀铣削平面和凸台的进给量

铣刀类型	铣刀直径 d_0/mm	铣削宽度 a_c/mm			
		1~3	5	8	12
		每齿进给量 f_z/(mm/z)			
带整体刀头的立铣刀	10~12	0.03~0.025	—	—	—
	14~16	0.06~0.04	0.04~0.03	—	—
	18~22	0.08~0.05	0.06~0.04	0.04~0.03	—
镶螺旋形刀片的立铣刀	20~25	0.12~0.07	0.10~0.05	0.10~0.03	0.08~0.05
	30~40	0.18~0.10	0.12~0.08	0.10~0.06	0.10~0.05
	50~60	0.20~0.10	0.16~0.10	0.12~0.08	0.12~0.06

注：1. 大进给量用于在大功率机床上背吃刀量较小的粗铣；小进给量用于在中等功率的机床上背吃刀量较大的铣削。
2. 表列进给量可得到 Ra=3.2~6.3μm 的表面粗糙度。

5. 涂层硬质合金铣刀的铣削用量（见表 5-17）

表 5-17 涂层硬质合金铣刀的铣削用量

加工材料		硬度 HBW	背吃刀量 a_p/mm	端铣平面		三面刃铣刀铣侧面及槽	
				每齿进给量 f_z/(mm/z)	切削速度 v/(m/min)	每齿进给量 f_z/(mm/z)	切削速度 v/(m/min)
碳钢	低碳钢	125~225	1	0.2	275~335	0.13	205~250
			4	0.3	200~225	0.18	145~170
			8	0.4	160~175	0.23	115~135
	中碳钢	175~225	1	0.2	225	0.13	190
			4	0.3	190	0.18	140
			8	0.4	150	0.23	110

（续）

加工材料		硬度 HBW	背吃刀量 a_p/mm	端铣平面		三面刃铣刀铣侧面及槽	
				每齿进给量 f_z/(mm/z)	切削速度 v/(m/min)	每齿进给量 f_z/(mm/z)	切削速度 v/(m/min)
碳钢	高碳钢	175～225	1 4 8	0.2 0.3 0.4	245 180 140	0.13 0.18 0.23	185 135 105
合金钢	低碳钢	125～225	1 4 8	0.2 0.3 0.4	265～305 205～225 155～175	0.13 0.18 0.23	200～230 150～170 115～130
	中碳钢	175～225	1 4 8	0.2 0.3 0.4	250 175 135	0.13 0.18 0.23	190 125～130 90～105
	高碳钢	175～225	1 4 8	0.2 0.3 0.4	235 160 120	0.13 0.18 0.23	175 120 90
高强度钢		300～350	1 4 8	0.13 0.18 0.23	185 120 95	0.102 0.13 0.15	135 90 70
高速钢		200～275	1 4 8	0.18 0.25 0.36	135～150 87～100 67～79	0.102 0.15 0.2	100～115 66～76 50～59
不锈钢	奥氏体钢	135～185	1 4 8	0.2 0.3 0.4	200～215 130～145 100～105	0.13 0.18 0.23	130～185 84～120 64～95
	马氏体钢	135～225	1 4 8	0.2 0.3 0.4	235～245 150～160 100～115	0.13 0.18 0.23	150～160 100～105 64～72
灰铸铁		190～260	1 4 8	0.18 0.25 0.36	200～235 130～155 100～120	0.102 0.15 0.2	145～150 100 73～79
可锻铸铁		160～200	1 4 8	0.2 0.3 0.4	250 165 130	0.13 0.18 0.23	215 175 165

6. 硬质合金及高速钢立铣刀铣削难切削材料及铜、铝合金的切削用量(见表 5-18)

表 5-18　硬质合金及高速钢立铣刀铣削难切削材料及铜、铝合金的切削用量

加工材料	硬度 HBW	铣削平面及凸台											铣削槽					
		a_w/mm	高速钢铣刀					硬质合金铣刀					a_p/mm	高速钢铣刀				
			v/(m/min)	d_0/mm				v/(m/min)	d_0/mm					v/(m/min)	槽宽 d_0/mm			
				10	12	18	25~50		10	12	18	25~50			10	12	18	25~50
				a_f/(mm/z)					a_f/(mm/z)						a_f/(mm/z)			
高强度钢	225~350	0.5	23~29	0.018	0.038~0.050	0.075	0.102	87~105	0.025	0.038~0.050	0.075	0.102	0.75	15~18	0.013~0.018	0.025	0.050	0.075
		1.5	17~21	0.025	0.050~0.075	0.102	0.13	67~82	0.05	0.075	0.102	0.13	3	14~17	0.018~0.025	0.038~0.050	0.075	0.102
		$d_0/4$	15~18	0.018	0.038~0.050	0.075	0.102	58~70	0.038	0.050	0.075	0.102	$d_0/2$	12~14	0.013	0.025	0.038	0.063
		$d_0/2$	12~15	0.013	0.025~0.038	0.050	0.075	52~66	0.025	0.038	0.050	0.075	d_0	11~12	—	0.013	0.025	0.050
高速钢	200~275	0.5	18~26	0.013~0.018	0.025	0.038~0.050	0.050~0.075	69~100	0.025	0.038	0.050~0.063	0.075~0.102	0.75	9~15	0.013	0.038	0.050	0.075
		1.5	14~20	0.018~0.025	0.025~0.05	0.038~0.075	0.063~0.102	53~73	0.038	0.050~0.063	0.075~0.102	0.102~0.13	3	8~14	0.018	0.050	0.075	0.102
		$d_0/4$	12~17	0.013	0.013~0.025	0.025~0.050	0.050~0.075	44~62	0.025	0.050	0.063~0.075	0.089~0.102	$d_0/2$	6~12	0.013	0.018~0.025	0.038~0.050	0.075
		$d_0/2$	11~15	0.013	0.013	0.013~0.025	0.025~0.050	41~59	0.018	0.025	0.050	0.075	d_0	5~11	—	0.013	0.025	0.050
工具钢	150~250	0.5	20~30	0.013~0.018	0.025	0.038~0.050	0.050~0.075	79~120	0.025	0.038	0.050~0.075	0.063~0.102	0.75	12~17	0.013~0.018	0.038	0.050	0.075~0.102
		1.5	15~23	0.025	0.038~0.050	0.050~0.075	0.075~0.102	60~90	0.025~0.038	0.038~0.063	0.063~0.102	0.089~0.13	3	11~15	0.018	0.050	0.075	0.102~0.13
		$d_0/4$	12~20	0.013~0.018	0.025	0.038~0.050	0.050~0.075	52~78	0.025~0.038	0.038~0.063	0.050~0.075	0.075~0.102	$d_0/2$	9~12	0.013	0.025~0.038	0.038~0.050	0.075~0.102
		$d_0/2$	11~18	0.013	0.013	0.025	0.038~0.050	49~72	0.018~0.025	0.025~0.050	0.038~0.063	0.050~0.075	d_0	8~9	—	0.013~0.025	0.025~0.050	0.050~0.075

（续）

加工材料	硬度HBW	铣削平面及凸台											铣削槽					
		a_w/mm	高速钢铣刀					硬质合金铣刀					a_p/mm	高速钢铣刀				
			v/(m/min)	d_0/mm				v/(m/min)	d_0/mm					v/(m/min)	槽宽 d_0/mm			
				10	12	18	25～50		10	12	18	25～50			10	12	18	25～50
				a_f/(mm/z)					a_f/(mm/z)						a_f/(mm/z)			
钛合金	300～350	0.5	15～34	0.025	0.05	0.102	0.102～0.13	46～90	0.025	0.050	0.13	0.18	0.75	11～20	0.018～0.025	0.025～0.050	0.050～0.075	0.075～0.102
		1.5	14～30	0.038～0.05	0.075	0.13	0.13～0.15	40～84	0.038～0.05	0.075	0.15	0.20	3	9～18	0.018～0.025	0.025～0.050	0.050～0.075	0.075～0.102
		$d_0/4$	8～17	0.025	0.038～0.05	0.05～0.075	0.075～0.13	23～52	0.025～0.038	0.05	0.13	0.15	$d_0/2$	8～15	0.013～0.018	0.018～0.038	0.050	0.063～0.075
		$d_0/2$	6～12	0.018～0.025	0.025～0.038	0.038～0.050	0.05～0.075	15～40	0.018～0.025	0.025	0.102	0.13	d_0	6～12	0.013	0.013～0.025	0.038	0.050～0.075
高温合金	200～475	0.5	3～12	0.025	0.025	0.038～0.050	0.050	12～46	0.025	0.025	0.038～0.050	0.050～0.075	0.75	2.1～6	0.013～0.018	0.013～0.025	0.018～0.050	0.025～0.075
		1.5	2.4～9	0.038～0.050	0.038～0.050	0.050～0.075	0.075～0.102	9～34	0.025～0.038	0.038～0.050	0.050～0.075	0.075～0.102	3	1.8～5.5	0.013～0.025	0.018～0.038	0.025～0.075	0.038～0.089
		$d_0/4$	2.1～8	0.025～0.038	0.025～0.038	0.038～0.063	0.050～0.075	8～29	0.025	0.025～0.038	0.025～0.050	0.038～0.075	$d_0/2$	1.5～5	—	0.018～0.025	0.018～0.050	0.025～0.075
		$d_0/2$	2～6	0.013～0.025	0.018～0.025	0.025～0.050	0.038～0.063	6～27	—	—	0.025～0.038	0.025～0.050	d_0	—	—	—	—	—
不锈钢 奥氏体	135～275	0.5	27～34	0.025	0.050	0.102	0.13	90～110	0.013	0.025	0.050	0.075～0.102	0.75	12～18	0.013～0.018	0.025	0.050	0.075
		1.5	20～24	0.050	0.075	0.13	0.15	70～82	0.025	0.050	0.075	0.102～0.13	3	11～17	0.018～0.025	0.038～0.050	0.063～0.075	0.102
		$d_0/4$	17～21	0.025	0.050	0.102	0.13	60～72	0.025	0.038	0.063	0.075～0.102	$d_0/2$	9～15	0.013	0.025	0.038～0.050	0.063～0.075
		$d_0/2$	15～18	0.025	0.025～0.038	0.075	0.102	55～67	0.013～0.018	0.025	0.050	0.063～0.075	d_0	8～12	—	0.013	0.025	0.038～0.050

（续）

加工材料	硬度HBW	铣削平面及凸台											铣削槽					
		a_w/mm	高速钢铣刀					硬质合金铣刀					a_p/mm	高速钢铣刀				
			v/(m/min)	d_0/mm				v/(m/min)	d_0/mm					v/(m/min)	槽宽 d_0/mm			
				10	12	18	25~50		10	12	18	25~50			10	12	18	25~50
				a_f/(mm/z)					a_f/(mm/z)						a_f/(mm/z)			
不锈钢 马氏体	175~325	0.5	21~40	0.018~0.025	0.025~0.050	0.050~0.075	0.075~0.102	76~120	0.013	0.025	0.075	0.13	0.75	12~20	0.013	0.025~0.038	0.050	0.075
		1.5	17~30	0.025~0.050	0.050~0.075	0.075~0.102	0.102~0.13	58~90	0.025	0.050	0.102	0.15	3	11~18	0.018	0.038~0.050	0.063~0.075	0.102
		$d_0/4$	14~27	0.018~0.025	0.025~0.050	0.050~0.075	0.075~0.102	50~78	0.025	0.038	0.075	0.102	$d_0/2$	9~15	0.013	0.025~0.038	0.038~0.050	0.050~0.075
		$d_0/2$	12~23	0.013~0.025	0.018~0.025	0.038~0.050	0.063~0.075	46~72	0.013	0.025	0.050	0.075	d_0	8~12	—	0.013	0.018~0.025	0.025~0.050
铝合金	30~150	0.5	245~305	0.075	0.102	0.13	0.18	395	0.075	0.102	0.13~0.15	0.18	0.75	115~150	0.075	0.13	0.15	0.25
		1.5	185~245	0.102	0.15	0.20	0.25	305	0.102	0.15	0.20	0.25	3	100~135	0.102	0.15	0.20	0.30
		$d_0/4$	150~185	0.075	0.102	0.15	0.20	275	0.075	0.13	0.15	0.20	$d_0/2$	84~120	0.075	0.13	0.15	0.20
		$d_0/2$	120~150	0.050	0.075	0.13	0.15	245	0.050	0.102	0.13	0.15	d_0	69~105	0.050	0.075	0.13	0.15
铜合金		0.5	46~150	0.025~0.050	0.025~0.075	0.102~0.13	0.13~0.18	105~290	0.038~0.05	0.075	0.13	0.15~0.18	0.75	30~87	0.025~0.050	0.050	0.075	0.102~0.13
		1.5	38~120	0.038~0.075	0.038~0.13	0.13~0.20	0.18~0.25	81~225	0.05~0.075	0.102~0.13	0.15~0.20	0.20~0.25	3	26~79	0.050~0.075	0.063~0.075	0.102~0.13	0.13~0.18
		$d_0/4$	30~105	0.025~0.050	0.025~0.075	0.075~0.13	0.102~0.15	70~185	0.038~0.05	0.075	0.102~0.15	0.13~0.18	$d_0/2$	23~72	0.025~0.050	0.038~0.050	0.063~0.075	0.089~0.102
		$d_0/2$	23~90	0.018~0.038	0.018~0.075	0.05~0.102	0.075~0.13	66~170	0.025~0.038	0.050	0.075~0.102	0.102~0.15	d_0	20~64	0.025~0.038	0.025~0.038	0.050	0.063~0.075

5.2.4 铣削速度

1. 一般情况下的铣削速度（见表 5-19）

2. 高速钢圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率

高速钢圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率见表 5-20。表中，T 为刀具寿命、d_0 为铣刀直径、Z 为铣刀刀齿数、a_p 为铣削深度、a_w 为铣削切削层公称宽度、f_z 为每齿进给量、v 为铣削速度、P_m 为铣削功率。后列同类表格的代号意义相同。

表 5-19 一般情况下的铣削速度

工件材料	硬度 HBW	铣削速度/（m/min）		工件材料	硬度 HBW	铣削速度/（m/min）	
		硬质合金铣刀	高速钢铣刀			硬质合金铣刀	高速钢铣刀
低、中碳钢	<220 225～290 300～425	60～150 55～115 35～75	20～40 15～35 10～15	工具钢	200～250	45～80	12～25
				灰铸铁	100～140 150～225 230～290 300～320	110～115 60～110 45～90 20～30	25～35 15～20 10～18 5～10
高碳钢	<220 225～325 325～385 375～425	60～130 50～105 35～50 35～45	20～35 15～25 10～12 5～10	可锻铸铁	110～160 160～200 200～240 240～280	100～200 80～120 70～110 40～60	40～50 25～35 15～25 10～20
合金钢	<220 225～325 325～425	55～120 35～80 30～60	15～35 10～25 5～10	铝镁合金	95～100	360～600	180～300
不锈钢		70～90	20～35	黄铜		180～300	60～90
铸钢		45～75	15～25	青铜		180～300	30～50

注：精加工的铣削速度可比表值增加 30% 左右。

表 5-20 高速钢圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率（GB/T 1115—2002）

T/min	d_0/z	a_p/mm	结构碳钢，R_m = 650MPa（加切削液）									灰铸铁，硬度为 190HBW								
			f_z/(mm/z)	铣削切削层公称宽度 a_w/mm								f_z/(mm/z)	铣削切削层公称宽度 a_w/mm							
				3		5		8		12			3		5		8		12	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿和粗齿铣刀																				
180	80/8	60	0.05	30	1.16	26	1.43	—	—	—	—	0.08	26	0.78	20	0.94	16	1.15	13	1.31
			0.08	28	1.43	24	1.06	—	—	—	—	0.12	25	0.94	19	1.20	15	1.36	12	1.52
			0.12	25	1.76	22	2.42	—	—	—	—	0.20	20	1.10	15	1.25	12	1.46	10	1.72
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	15	1.15	12	1.30	9	1.57	8	1.83

（续）

T/min	d_0/z	a_p/mm	结构碳钢，R_m = 650MPa（加切削液）									灰铸铁，硬度为190HBW								
			f_z/（mm/z）	铣削切削层公称宽度 a_w/mm								f_z/（mm/z）	铣削切削层公称宽度 a_w/mm							
				3		5		8		12			3		5		8		12	
				v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW		v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW
镶齿和粗齿铣刀																				
180	100/10	70	0.05	32	1.58	28	1.99	24	2.61	21	3.30	0.08	29	1.11	22	1.37	18	1.57	14	1.76
			0.08	30	1.99	26	2.61	22	3.37	20	4.26	0.12	27	1.37	20	1.57	16	1.83	13	2.09
			0.12	27	2.40	23	3.23	20	3.71	18	5.09	0.20	21	1.50	16	1.70	13	1.96	11	2.29
			0.20	22	2.75	19	3.78	17	4.81	15	6.05	0.30	17	1.57	13	1.76	10	2.16	8	2.48
细齿铣刀																				
120	50/8	40	0.03	29	0.88	—	—	—	—	—	—	0.03	23	0.49	—	—	—	—	—	—
			0.05	26	1.10	—	—	—	—	—	—	0.05	21	0.59	—	—	—	—	—	—
			0.08	24	1.47	—	—	—	—	—	—	0.08	19	0.66	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	18	0.80	—	—	—	—	—	—
120	63/10	50	0.03	34	1.10	30	1.49	25	1.85	—	—	0.03	28	0.56	22	0.63	17	0.75	—	—
			0.05	30	1.38	26	1.89	23	2.36	—	—	0.05	25	0.71	20	0.82	16	0.97	—	—
			0.08	28	1.81	24	2.36	21	3.14	—	—	0.08	23	0.86	18	1.01	14	1.19	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12	22	1.04	17	1.23	13	1.42	—	—
180	80/12	60	0.03	32	1.10	28	1.57	24	2.02	—	—	0.05	25	0.78	19	0.90	15	1.10	—	—
			0.05	29	1.53	25	2.02	22	2.64	—	—	0.08	22	0.98	17	1.14	14	1.37	—	—
			0.08	26	1.98	23	2.64	20	3.38	—	—	0.12	21	1.18	16	1.37	13	1.61	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	17	1.33	13	1.53	10	1.80	—	—
180	100/14	70	0.03	35	1.41	30	1.93	25	2.44	—	—	0.05	26	0.93	29	1.14	16	1.34	—	—
			0.05	31	1.88	27	2.48	23	3.17	—	—	0.08	24	1.18	19	1.42	15	1.67	—	—
			0.08	29	2.44	25	3.21	22	4.19	—	—	0.12	22	1.42	17	1.67	14	1.95	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.20	18	1.58	14	1.83	11	2.19	—	—

注：加工150HBW的可锻铸铁按 σ_b = 650MPa 的结构碳钢修正，$v\times1.23$，$P_m\times0.56$。

3. 高速钢三面刃圆盘铣刀铣削平面及凸台的铣削速度及铣削功率（见表5-21）

表5-21 高速钢三面刃圆盘铣刀铣削平面及凸台的铣削速度及铣削功率

T/min	d_0/z	a_p/mm	R_m = 650MPa 结构碳钢（加切削液）									190HBW 的灰铸铁								
			f_z/（mm/z）	a_w/mm								f_z/（mm/z）	a_w/mm							
				10		20		40		60			10		20		40		60	
				v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW		v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW	v/（m/min）	P_m/kW
镶齿铣刀（JB/T 7953—2010）																				
120	80/10	6	0.05	32	0.44	26	0.66	—	—	—	—	0.08	31	0.31	22	0.42	—	—	—	—
			0.08	30	0.55	24	0.83	—	—	—	—	0.12	26	0.37	19	0.47	—	—	—	—
			0.12	27	0.66	22	0.99	—	—	—	—	0.2	21	0.42	15	0.52	—	—	—	—

（续）

T/min	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	R_m =650MPa 结构碳钢(加切削液)									190HBW 的灰铸铁								
			f_z/(mm/z)	a_w/mm								f_z/(mm/z)	a_w/mm							
				10		20		40		60			10		20		40		60	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿铣刀(JB/T 7953—2010)																				
120	$\frac{100}{12}$	6	0.05	33	0.44	27	0.66	—	—	—	—	0.08	31	0.31	22	0.42	—	—	—	—
			0.08	31	0.61	25	0.88	—	—	—	—	0.12	27	0.37	19	0.47	—	—	—	—
			0.12	28	0.72	23	1.05	—	—	—	—	0.2	22	0.42	16	0.52	—	—	—	—
			0.2	23	0.83	18	1.21	—	—	—	—	0.3	19	0.47	13	0.57	—	—	—	—
120	$\frac{125}{14}$	6	0.05	34	0.44	28	0.66	—	—	—	—	0.08	31	0.37	22	0.42	—	—	—	—
			0.08	32	0.61	26	0.88	—	—	—	—	0.12	27	0.37	19	0.47	—	—	—	—
			0.12	29	0.72	24	1.05	—	—	—	—	0.2	21	0.42	15	0.52	—	—	—	—
			0.2	23	0.83	19	1.27	—	—	—	—	0.3	19	0.47	13	0.57	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	16	0.47	12	0.63	—	—	—	—
150	$\frac{160}{16}$	8	0.05	34	0.55	28	0.77	23	1.16	—	—	0.08	31	0.37	22	0.47	16	0.63	—	—
			0.08	32	0.72	26	0.99	21	1.49	—	—	0.12	26	0.42	19	0.52	13	0.68	—	—
			0.12	29	0.83	23	1.21	19	1.76	—	—	0.2	21	0.47	15	0.63	11	0.78	—	—
			0.2	23	0.99	19	1.43	15	2.09	—	—	0.3	18	0.52	13	0.68	9	0.84	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	16	0.57	12	0.73	—	—	—	—
150	$\frac{200}{20}$	12	0.05	—	—	28	1.16	23	1.65	20	2.09	0.08	—	—	22	0.73	16	0.89	13	0.99
			0.08	—	—	26	1.49	21	2.15	18	2.70	0.12	—	—	19	0.78	13	0.99	11	1.15
			0.12	—	—	23	1.76	19	2.70	17	3.30	0.2	—	—	15	0.89	11	1.10	9	1.31
			0.2	—	—	19	2.09	15	3.14	14	3.85	0.3	—	—	13	0.99	9	1.25	8	1.41
			0.3	—	—	16	2.37	—	—	—	—	0.4	—	—	12	1.04	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	11	1.15	—	—	—	—
180	$\frac{250}{22}$	16	0.05	—	—	26	1.43	21	2.09	19	2.64	0.08	—	—	21	0.89	16	1.20	12	1.31
			0.08	—	—	24	1.82	20	2.75	17	3.41	0.12	—	—	18	1.04	13	1.25	11	1.46
			0.12	—	—	22	2.20	18	3.30	16	4.13	0.2	—	—	15	1.15	10	1.46	9	1.67
			0.2	—	—	18	2.59	15	3.91	13	4.79	0.3	—	—	13	1.31	9	1.62	7	1.83
			0.3	—	—	15	2.97	13	4.46	—	—	0.4	—	—	12	1.36	8	1.72	6	1.99
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	10	1.56	7	1.83	6	2.09
整体直齿铣刀(GB/T 6119.1—1996)																				
a_w				5		10		20		30		5		10		20		30		
120	$\frac{63}{16}$	5	0.03	37	0.28	30	0.44	—	—	—	—	0.05	41	0.26	29	0.37	—	—	—	—
			0.05	34	0.39	28	0.55	—	—	—	—	0.08	34	0.31	24	0.37	—	—	—	—
			0.08	31	0.50	25	0.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

（续）

T/min	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	R_m=650MPa 结构碳钢(加切削液)									190HBW 的灰铸铁								
			f_z/(mm/z)	a_w/mm								f_z/(mm/z)	a_w/mm							
				10		20		40		60			10		20		40		60	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
整体直齿铣刀(GB/T 6119.1—1996)																				
120	$\frac{80}{18}$	5	0.03	39	0.28	31	0.44	—	—	—	—	0.05	43	0.26	30	0.31	—	—	—	—
			0.05	35	0.39	29	0.55	—	—	—	—	0.08	36	0.31	25	0.37	—	—	—	—
			0.08	32	0.50	26	0.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	$\frac{100}{20}$	6	0.03	40	0.33	33	0.50	26	0.66	—	—	0.05	44	0.31	31	0.42	23	0.52	—	—
			0.05	36	0.44	30	0.61	24	0.88	—	—	0.08	37	0.37	26	0.47	19	0.57	—	—
			0.08	33	0.55	27	0.77	22	1.16	—	—	0.12	31	0.42	22	0.52	16	0.63	—	—

注：加工 150HBW 的可锻铸铁按铣削 R_m=650MPa 的结构碳钢修正，$v\times1.23$，$P_m\times0.56$。

4. 高速钢三面刃圆盘铣刀在结构碳钢（R_m=650MPa）上铣槽的铣削速度及铣削功率（见表 5-22）

表 5-22 高速钢三面刃圆盘铣刀在结构碳碳（R_m=650MPa）上铣槽的铣削速度及铣削功率

T/mm	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	f_z/(mm/z)	a_w/mm									
				5		10		15		20		40	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿铣刀(JB/T 7953—2010)													
120	$\frac{80}{10}$	12	0.03	41	0.41	33	0.66	30	0.88	—	—	—	—
			0.05	36	0.55	30	0.77	26	0.99	—	—	—	—
			0.08	34	0.66	28	0.99	24	1.21	—	—	—	—
			0.12	31	0.88	25	1.16	22	1.43	—	—	—	—
120	$\frac{100}{12}$	16	0.03	41	0.55	33	0.83	29	1.05	—	—	—	—
			0.05	36	0.83	29	1.16	26	1.38	—	—	—	—
			0.08	34	0.94	27	1.38	24	1.71	—	—	—	—
			0.12	31	1.16	25	1.71	22	2.09	—	—	—	—
120	$\frac{125}{14}$	18	0.03	41	0.66	34	0.94	29	1.16	27	1.38	—	—
			0.05	37	0.94	29	1.27	27	1.49	24	1.82	—	—
			0.08	35	1.05	28	1.49	25	1.93	23	2.31	—	—
			0.12	31	1.27	25	1.82	22	2.31	21	2.75	—	—
150	$\frac{160}{16}$	24	0.03	—	—	34	1.10	30	1.38	27	1.60	22	2.31
			0.05	—	—	30	1.49	27	1.76	24	2.09	20	3.19
			0.08	—	—	28	1.87	25	2.26	23	2.75	18	3.91
			0.12	—	—	25	2.26	22	2.75	20	3.25	17	4.79
			0.20	—	—	20	2.59	18	3.25	—	—	—	—

（续）

T/mm	d_0/z	a_p/mm	f_z/(mm/z)	a_w/mm 5		10		15		20		40	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿铣刀(JB/T 7953—2010)													
150	200/20	32	0.03	—	—	34	1.49	30	1.82	28	2.20	23	3.14
			0.05	—	—	31	1.98	27	2.31	25	2.81	20	4.02
			0.08	—	—	29	2.42	25	2.92	23	3.52	19	5.28
			0.12	—	—	25	2.81	23	3.91	21	4.13	17	6.05
			0.20	—	—	21	3.41	18	4.24	—	—	—	—
180	250/22	40	0.03	—	—	32	1.93	29	2.48	27	2.97	22	4.24
			0.05	—	—	29	2.59	26	3.08	24	3.74	20	5.61
			0.08	—	—	27	3.19	24	3.85	22	4.79	18	7.15
			0.12	—	—	24	3.74	22	5.28	20	5.50	16	8.25
			0.20	—	—	20	4.40	18	5.50	—	—	—	—
整体直齿铣刀(GB/T 6119.1—1996)													
120	63/16	10	0.03	35	0.55	28	0.83	25	1.05	—	—	—	—
			0.05	31	0.72	25	1.05	22	1.27	—	—	—	—
			0.08	29	0.94	23	1.32	21	1.71	—	—	—	—
120	80/18	12	0.03	36	0.61	29	0.88	26	1.16	24	1.32	—	—
			0.05	32	0.77	26	1.16	23	1.49	21	1.76	—	—
			0.08	30	1.05	24	1.49	21	1.87	19	2.26	—	—
120	100/20	14	0.03	37	0.72	30	0.99	26	1.27	24	1.49	—	—
			0.05	33	0.83	27	1.38	23	1.60	22	1.98	—	—
			0.08	30	1.10	25	1.65	22	2.09	20	2.42	—	—

注：1. 使用切削液。

2. 加工 150HBW 的可锻铸铁，按表中数值修正，$v\times1.23$，$P_m\times0.56$。

5. 高速钢三面刃圆盘铣刀在灰铸铁（190HBW）上铣槽的铣削速度及铣削功率（见表 5-23）

表 5-23 高速钢三面刃圆盘铣刀在灰铸铁(190HBW)上铣槽的铣削速度及铣削功率

T/mm	d_0/z	a_p/mm	f_z/(mm/z)	a_w/mm 5		10		15		20		40	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿铣刀(JB/T 7953—2010)													
120	80/10	12	0.05	49	0.42	34	0.52	28	0.63	—	—	—	—
			0.08	41	0.47	28	0.57	24	0.68	—	—	—	—
			0.12	34	0.52	25	0.68	20	0.78	—	—	—	—
			0.20	28	0.57	20	0.73	16	0.84	—	—	—	—

（续）

T/mm	d_0/z	a_p/mm	f_z/(mm/z)	a_w/mm									
				5		10		15		20		40	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
镶齿铣刀(JB/T 7953—2010)													
120	$\frac{100}{12}$	16	0.05	49	0.57	34	0.68	28	0.84	—	—	—	—
			0.08	40	0.63	29	0.84	23	0.99	—	—	—	—
			0.12	34	0.68	24	0.89	20	1.04	—	—	—	—
			0.20	28	0.84	20	1.04	16	1.25	—	—	—	—
150	$\frac{125}{14}$	18	0.05	47	0.63	33	0.78	27	0.94	24	0.99	—	—
			0.08	39	0.68	28	0.94	23	0.99	19	1.10	—	—
			0.12	33	0.78	24	0.99	19	1.10	17	1.25	—	—
			0.20	27	0.94	19	1.10	17	1.25	14	1.41	—	—
180	$\frac{160}{16}$	24	0.05	—	—	33	0.89	27	1.04	24	1.15	16	1.41
			0.08	—	—	27	1.04	22	1.15	20	1.31	14	1.62
			0.12	—	—	23	1.15	19	1.25	17	1.46	12	1.78
			0.20	—	—	19	1.25	15	1.46	14	1.57	—	—
180	$\frac{200}{20}$	32	0.05	—	—	32	1.25	27	1.46	24	1.57	17	1.93
			0.08	—	—	28	1.46	23	1.57	20	1.72	14	2.19
			0.12	—	—	24	1.52	19	1.88	17	1.93	12	2.40
			0.20	—	—	19	1.72	17	1.99	14	2.14	—	—
240	$\frac{250}{22}$	40	0.05	—	—	32	1.46	27	1.78	23	1.83	16	2.30
			0.08	—	—	27	1.67	22	1.83	19	2.04	13	2.56
			0.12	—	—	23	1.78	19	2.04	16	2.25	12	2.87
			0.20	—	—	19	2.04	15	2.35	13	2.56	—	—
整体直齿铣刀(GB/T 6119.1—1996)													
120	$\frac{63}{16}$	10	0.03	48	0.47	34	0.57	28	0.68	—	—	—	—
			0.05	39	0.52	27	0.68	24	0.78	—	—	—	—
			0.08	32	0.57	23	0.78	19	0.89	—	—	—	—
120	$\frac{80}{18}$	12	0.03	49	0.52	35	0.68	28	0.78	25	0.84	—	—
			0.05	39	0.57	28	0.78	22	0.89	20	0.94	—	—
			0.08	33	0.68	23	0.89	19	0.94	16	1.04	—	—
120	$\frac{100}{20}$	14	0.03	50	0.57	35	0.73	29	0.84	25	0.94	—	—
			0.05	40	0.68	29	0.84	24	0.94	20	1.04	—	—
			0.08	34	0.73	24	0.94	20	1.04	17	1.15	—	—
			0.12	28	0.84	20	1.04	17	1.20	15	1.31	—	—

6. 高速钢立铣刀铣削钢件平面及凸台的铣削速度及铣削功率（见表5-24）

表5-24 高速钢立铣刀铣削钢件平面及凸台的铣削速度及铣削功率（GB/T 5340—2006）

T/min	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	R_m=650MPa的碳素结构钢							耐热钢 1Cr18Ni9Ti						
			f_z/(mm/z)	a_w/mm						f_z/(mm/z)	a_w/mm					
				3		5		8			1.5		3		5	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
粗齿铣刀																
60	$\frac{16}{3}$	40	0.04	47	1.43	—	—	—	—	0.03	43	1.05	37	1.54	—	—
			0.06	38	1.54	—	—	—	—	0.04	37	1.10	32	1.60	—	—
			0.08	34	1.75	—	—	—	—	0.06	31	1.16	27	1.65	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	0.08	27	1.21	23	1.71	—	—
60	$\frac{20}{3}$	40	0.04	52	1.26	40	1.54	—	—	0.03	47	0.94	41	1.27	36	1.82
			0.06	43	1.43	33	1.71	—	—	0.04	41	0.99	35	1.43	32	1.87
			0.08	37	1.49	28	1.82	—	—	0.06	34	1.05	29	1.49	26	1.98
			0.1	33	1.60	—	—	—	—	0.08	29	1.05	25	1.54	23	2.04
60	$\frac{25}{3}$	40	0.06	47	1.26	36	1.54	—	—	0.04	44	0.88	38	1.27	34	1.65
			0.08	41	1.38	31	1.65	—	—	0.06	36	0.94	31	1.27	28	1.76
			0.1	36	1.43	28	1.71	—	—	0.08	31	0.94	27	1.38	24	1.82
			0.12	33	1.49	—	—	—	—	0.12	26	0.99	22	1.43	30	1.87
90	$\frac{32}{4}$	40	0.08	38	1.43	30	1.71	—	—	0.04	41	0.88	36	1.32	32	1.71
			0.1	35	1.49	27	1.82	—	—	0.06	34	0.94	30	1.38	26	1.76
			0.12	31	1.54	24	1.87	—	—	0.08	30	0.99	25	1.43	23	1.87
			0.15	28	1.60	—	—	—	—	0.12	24	1.05	21	1.49	19	1.98
90	$\frac{40}{4}$	40	0.06	—	—	38	1.43	30	1.71	0.06	37	0.83	32	1.21	28	1.60
			0.08	43	1.26	33	1.54	26	1.82	0.08	32	0.83	28	1.27	25	1.65
			0.1	38	1.32	30	1.65	23	1.93	0.12	26	0.88	23	1.32	20	1.76
			0.12	35	1.38	27	1.71	21	1.98	0.15	24	0.94	20	1.38	18	1.76
			0.15	31	1.49	24	1.76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	$\frac{50}{4}$	40	0.08	—	—	33	1.26	26	1.54	0.06	37	0.66	32	0.99	28	1.32
			0.1	38	1.10	30	1.32	24	1.60	0.08	32	0.72	28	1.05	25	1.38
			0.12	35	1.16	27	1.38	21	1.65	0.12	26	0.72	23	1.10	20	1.43
			0.15	31	1.21	24	1.43	19	1.76	0.15	24	0.77	20	1.10	18	1.49
			0.2	27	1.32	21	1.54	—	—	0.2	20	0.77	18	1.10	—	—
细齿铣刀																
60	$\frac{16}{6}$	40	0.02	63	2.31	—	—	—	—	0.02	49	1.91	43	2.77	—	—
			0.03	51	2.51	—	—	—	—	0.03	40	1.98	35	2.90	—	—
			0.04	44	2.64	—	—	—	—	0.04	35	2.11	31	2.97	—	—
			0.06	36	2.90	—	—	—	—	0.06	29	2.18	25	3.17	—	—

（续）

T/min	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	R_m=650MPa的碳素结构钢							耐热钢 1Cr18Ni9Ti						
			f_z/(mm/z)	a_w/mm						f_z/(mm/z)	a_w/mm					
				3		5		8			1.5		3		5	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
细齿铣刀																
60	$\frac{20}{6}$	40	0.03	57	2.31	44	2.77	—	—	0.02	54	1.72	47	2.51	42	3.23
			0.04	49	2.44	38	2.90	—	—	0.03	44	1.78	38	2.64	35	3.43
			0.06	40	2.71	31	3.23	—	—	0.04	39	1.85	34	2.71	30	3.56
			0.08	35	2.84	—	—	—	—	0.06	32	1.91	28	2.84	25	3.76
60	$\frac{25}{6}$	40	0.04	55	2.24	42	2.71	—	—	0.03	47	1.58	41	2.31	37	3.04
			0.06	44	2.44	34	2.97	—	—	0.04	41	1.65	36	2.38	32	3.19
			0.08	38	2.64	29	3.10	—	—	0.06	34	1.72	30	2.51	27	3.30
			0.1	34	2.77	—	—	—	—	0.08	29	1.78	26	2.64	23	3.37
90	$\frac{32}{8}$	40	0.06	43	2.57	33	3.01	—	—	0.04	39	1.69	35	2.49	31	3.22
			0.08	36	2.71	28	3.22	—	—	0.06	33	1.83	28	2.57	25	3.45
			0.1	33	2.79	25	3.37	—	—	0.08	28	1.91	25	2.71	22	3.59
			0.12	30	2.93	—	—	—	—	0.12	23	1.98	20	2.86	18	3.67
90	$\frac{40}{8}$	40	0.04	—	—	—	—	35	2.93	0.04	43	1.54	37	2.20	34	2.93
			0.06	—	—	36	2.86	29	3.30	0.06	35	1.61	31	2.35	28	3.08
			0.08	41	2.49	32	2.93	25	3.45	0.08	30	1.61	27	2.42	24	3.15
			0.1	36	2.57	28	3.15	22	3.67	0.12	25	1.69	22	2.49	20	3.30
			0.12	33	2.71	25	3.23	—	—	0.15	22	1.76	20	2.57	18	3.37
			0.15	29	2.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	$\frac{50}{8}$	40	0.06	—	—	36	2.27	29	2.71	0.06	35	1.32	31	1.91	28	2.49
			0.08	41	2.05	32	2.49	25	2.93	0.08	30	1.32	27	1.98	24	2.57
			0.1	36	2.13	28	2.57	22	3.01	0.12	25	1.47	22	2.05	20	2.71
			0.12	33	2.20	26	2.64	19	3.08	0.15	22	1.47	20	2.13	18	2.78
			0.15	30	2.35	—	—	—	—	0.2	19	1.54	17	2.20	—	—
			0.2	25	2.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注：1. 表内铣削用量能达到表面粗糙度值 $Ra3.2\mu m$。

2. 全部使用切削液。

7. 高速钢立铣刀铣削灰铸铁、铜合金平面及凸台的铣削速度及铣削功率（见表5-25）

表5-25 高速钢立铣刀铣削灰铸铁、铜合金平面及凸台的铣削速度及铣削功率（GB/T 5340—2006）

T/min	d_0/z	a_p/mm	190HBW的灰铸铁 f_z/(mm/z)	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 3 v/(m/min)	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 3 P_m/kW	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 5 v/(m/min)	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 5 P_m/kW	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 8 v/(m/min)	190HBW的灰铸铁 a_w/mm 8 P_m/kW	100~140HBW的铜合金 f_z/(mm/z)	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 3 v/(m/min)	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 3 P_m/kW	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 5 v/(m/min)	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 5 P_m/kW	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 8 v/(m/min)	100~140HBW的铜合金 a_w/mm 8 P_m/kW
粗齿铣刀																
60	16/3	40	0.08	22	0.63	—	—	—	—	0.08	55	0.92	—	—	—	—
			0.12	21	0.73	—	—	—	—	0.12	50	1.14	—	—	—	—
			0.18	19	0.89	—	—	—	—	0.18	47	1.49	—	—	—	—
60	20/3	40	0.08	26	0.63	20	0.73	—	—	0.08	61	0.86	52	1.14	—	—
			0.12	24	0.73	18	0.84	—	—	0.12	56	1.03	48	1.37	—	—
			0.18	22	0.84	17	0.99	—	—	0.18	51	1.26	44	1.72	—	—
			0.25	21	0.99	—	—	—	—	0.25	48	1.49	41	2.06	—	—
60	25/3	40	0.08	31	0.58	24	0.68	—	—	0.08	67	0.80	57	1.03	—	—
			0.12	28	0.68	22	0.84	—	—	0.12	62	0.97	53	1.26	—	—
			0.18	26	0.84	20	0.99	—	—	0.18	57	1.14	49	1.60	—	—
			0.25	24	0.94	—	—	—	—	0.25	53	1.37	46	1.83	—	—
90	32/4	40	0.08	—	—	23	0.73	—	—	0.08	64	0.80	55	1.09	—	—
			0.12	28	0.73	21	0.89	—	—	0.12	58	0.97	50	1.26	—	—
			0.18	26	0.89	20	1.10	—	—	0.18	54	1.26	46	1.60	—	—
			0.25	24	1.05	19	1.25	—	—	0.25	50	1.49	43	1.94	—	—
			0.40	22	1.31	—	—	—	—	0.40	46	1.83	39	2.40	—	—
90	40/4	40	0.08	—	—	27	0.73	21	0.84	0.08	71	0.74	61	0.97	53	1.26
			0.12	32	0.73	25	0.84	20	0.99	0.12	65	0.92	55	1.14	48	1.49
			0.18	30	0.89	23	1.05	18	1.20	0.18	59	1.09	51	1.49	45	1.94
			0.25	28	1.05	21	1.20	—	—	0.25	56	1.26	48	1.83	—	—
			0.40	26	1.25	20	1.46	—	—	0.40	51	1.72	44	2.17	—	—
120	50/4	40	0.08	—	—	30	0.68	23	0.73	0.08	71	0.63	60	0.80	53	1.03
			0.12	36	0.68	27	0.78	21	0.89	0.12	65	0.74	55	0.97	49	1.26
			0.18	32	0.78	25	0.94	20	1.10	0.18	59	0.92	51	1.26	45	1.60
			0.25	30	0.89	24	1.05	19	1.25	0.25	56	1.09	48	1.49	42	1.83
			0.40	28	1.15	21	1.31	—	—	0.40	51	1.37	44	1.83	—	—

（续）

T/min	$\frac{d_0}{z}$	a_p/mm	190HBW 的灰铸铁							100～140HBW 的铜合金						
			f_z/(mm/z)	a_w/mm						f_z/(mm/z)	a_w/mm					
				3		5		8			3		5		8	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
细齿铣刀																
60	$\frac{16}{6}$	40	0.05	21	0.88	—	—	—	—	0.03	63	1.03	—	—	—	—
			0.08	19	1.07	—	—	—	—	0.05	57	1.37	—	—	—	—
			0.12	18	1.25	—	—	—	—	0.08	52	1.78	—	—	—	—
60	$\frac{20}{6}$	40	0.05	25	0.81	19	1.00	—	—	0.03	70	0.96	61	1.24	—	—
			0.08	22	1.00	17	1.19	—	—	0.05	63	1.24	54	1.65	—	—
			0.12	21	1.25	16	1.44	—	—	0.08	57	1.65	49	2.20	—	—
			0.18	19	1.50	—	—	—	—	0.12	53	2.06	—	—	—	—
60	$\frac{25}{6}$	40	0.08	26	1.00	20	1.19	—	—	0.05	70	1.17	59	1.03	—	—
			0.12	24	1.19	19	1.44	—	—	0.08	64	1.37	55	1.37	—	—
			0.18	22	1.44	17	1.69	—	—	0.12	58	1.78	50	1.78	—	—
			0.25	20	1.69	—	—	—	—	0.18	54	2.20	—	—	—	—
90	$\frac{32}{8}$	40	0.08	27	1.11	21	1.32	—	—	0.08	61	1.53	53	1.98	—	—
			0.12	25	1.32	19	1.60	—	—	0.12	57	1.98	49	2.44	—	—
			0.18	22	1.60	18	1.88	—	—	0.18	52	2.29	45	3.05	—	—
			0.25	21	1.81	—	—	—	—	0.25	49	2.75	—	—	—	—
90	$\frac{40}{8}$	40	0.05	—	—	—	—	21	1.18	0.05	—	—	—	—	55	1.83
			0.08	—	—	24	1.25	19	1.46	0.08	—	—	58	1.83	50	2.44
			0.12	29	1.32	22	1.53	18	1.74	0.12	63	1.68	53	2.29	46	2.90
			0.18	26	1.53	20	1.81	—	—	0.18	57	2.14	49	2.75	—	—
			0.25	25	1.81	19	2.09	—	—	0.25	54	2.59	46	3.36	—	—
120	$\frac{50}{8}$	40	0.08	—	—	26	1.18	21	1.32	0.08	—	—	58	1.53	51	1.98
			0.12	31	1.18	24	1.39	19	1.60	0.12	63	1.45	55	1.98	47	2.44
			0.18	29	1.39	22	1.67	18	1.95	0.18	57	1.83	50	2.29	43	3.05
			0.25	27	1.60	21	1.95	—	—	0.25	54	2.14	46	2.75	—	—
			0.4	25	2.02	—	—	—	—	0.4	49	2.75	—	—	—	—

注：表内铣削用量可达到表面粗糙度值 $Ra3.2\mu m$。

8. 高速钢立铣刀在结构碳钢（R_m =650MPa）上铣槽的铣削速度及铣削功率（见表 5-26）

表 5-26 高速钢立铣刀在结构碳钢（R_m =650MPa）上铣槽的铣削速度及铣削功率（GB/T 5340—2006）

T/min	d_0/z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	槽深 a_p/mm									
				5		10		15		20		30	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
45	$\frac{8}{4}$	8	0.006	—	—	69	0.75	—	—	—	—	—	—
			0.008	61	0.40	57	0.75	—	—	—	—	—	—
			0.01	54	0.44	51	0.79	—	—	—	—	—	—
			0.02	39	048	36	0.92	—	—	—	—	—	—
45	$\frac{10}{5}$	10	0.008	—	—	56	0.94	53	1.32	—	—	—	—
			0.01	54	0.55	50	0.99	48	1.38	—	—	—	—
			0.02	38	0.61	35	1.10	34	1.65	—	—	—	—
			0.03	31	0.66	—	—	—	—	—	—	—	—
60	$\frac{16}{3}$	16	0.01	—	—	—	—	45	0.77	—	—	—	—
			0.02	—	—	33	0.66	32	0.94	—	—	—	—
			0.03	29	0.39	27	0.72	26	0.99	—	—	—	—
			0.04	25	0.39	23	0.77	—	—	—	—	—	—
			0.06	21	0.44	—	—	—	—	—	—	—	—
	$\frac{16}{6}$		0.01	48	0.53	45	1.06	43	1.52	—	—	—	—
			0.02	34	0.66	31	1.19	30	1.78	—	—	—	—
			0.03	28	0.73	26	1.32	—	—	—	—	—	—
			0.04	24	0.73	—	—	—	—	—	—	—	—
60	$\frac{20}{3}$	20	0.02	—	—	—	—	—	—	30	1.16	—	—
			0.03	—	—	—	—	26	0.99	25	1.27	—	—
			0.04	—	—	23	0.72	22	1.05	22	1.38	—	—
			0.06	—	—	19	0.83	18	1.16	18	1.49	—	—
			0.08	—	—	17	0.88	—	—	—	—	—	—
	$\frac{20}{6}$		0.02	—	—	—	—	30	1.72	29	2.18	—	—
			0.03	—	—	25	1.32	24	1.85	24	2.44	—	—
			0.04	—	—	22	1.39	21	1.98	20	2.57	—	—
			0.06	—	—	18	1.52	17	2.18	—	—	—	—
60	$\frac{25}{3}$	25	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	29	1.65
			0.03	—	—	—	—	25	0.99	25	1.27	24	1.82
			0.04	—	—	23	0.72	22	1.05	21	1.38	21	1.98
			0.06	—	—	19	0.77	18	1.16	18	1.49	17	2.15
			0.08	—	—	16	0.83	16	1.21	—	—	—	—
			0.12	—	—	13	0.94	—	—	—	—	—	—

（续）

T/min	d_0/z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	槽深 a_p/mm 5 v/(m/min)	5 P_m/kW	10 v/(m/min)	10 P_m/kW	15 v/(m/min)	15 P_m/kW	20 v/(m/min)	20 P_m/kW	30 v/(m/min)	30 P_m/kW
60	25/6	25	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	28	3.17
			0.03	—	—	—	—	24	1.85	23	2.38	23	3.43
			0.04	—	—	22	1.39	21	1.98	20	2.57	20	3.70
			0.06	—	—	18	1.45	17	2.18	17	3.77	16	4.03
			0.08	—	—	15	1.58	15	2.31	—	—	—	—
			0.12	—	—	13	1.72	—	—	—	—	—	—
90	32/4	32	0.04	—	—	—	—	18	1.16	18	1.49	17	2.20
			0.06	—	—	16	0.88	15	1.27	15	1.65	14	2.37
			0.08	—	—	14	0.94	13	1.38	13	1.76	—	—
			0.12	—	—	11	1.05	11	1.49	—	—	—	—
	32/8		0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	23	3.59
			0.03	—	—	—	—	—	—	20	2.71	19	3.96
			0.04	—	—	—	—	18	2.27	17	2.86	17	4.18
			0.06	—	—	15	1.69	14	2.42	14	3.15	13	4.62
			0.08	—	—	13	1.83	13	2.64	12	3.37	—	—
			0.12	—	—	11	1.98	10	2.86	—	—	—	—

注：1. 表内铣削用量能达到表面粗糙度值 $Ra3.2\mu m$。

2. 使用切削液。

9. 高速钢立铣刀在灰铸铁（190HBW）上铣槽的铣削速度及铣削功率（见表 5-27）

表 5-27　高速钢立铣刀在灰铸铁（190HBW）上铣槽的铣削速度及铣削功率（GB/T 5340—2006）

T/min	d_0/z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	槽深 a_p/mm 5 v/(m/min)	5 P_m/kW	10 v/(m/min)	10 P_m/kW	15 v/(m/min)	15 P_m/kW	20 v/(m/min)	20 P_m/kW	30 v/(m/min)	30 P_m/kW
45	8/4	8	0.01	22	0.10	18	0.17	—	—	—	—	—	—
			0.02	19	0.13	15	0.25	—	—	—	—	—	—
			0.03	18	0.17	14	0.29	—	—	—	—	—	—

（续）

T/ min	d_0/z	a_w/ mm	f_z/ (mm/z)	槽深 a_p/mm 5 v/(m/min)	5 P_m/kW	10 v/(m/min)	10 P_m/kW	15 v/(m/min)	15 P_m/kW	20 v/(m/min)	20 P_m/kW	30 v/(m/min)	30 P_m/kW
45	10/5	10	0.01 0.02 0.03 0.05	— 20 18 17	— 0.21 0.21 0.26	19 16 15 —	0.21 0.31 0.37 —	16 14 — —	0.31 0.42 — —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
60	16/3	16	0.03 0.05 0.08 0.12	— 20 18 17	— 0.21 0.26 0.31	18 16 15 —	0.26 0.31 0.42 —	16 14 13 —	0.37 0.42 0.52 —	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
	16/6		0.02 0.03 0.05 0.08	— 19 17 15	— 0.25 0.31 0.43	16 15 14 13	0.37 0.43 0.56 0.69	15 13 12 11	0.50 0.56 0.75 0.94	— — — —	— — — —	— — — —	— — — —
60	20/3	20	0.03 0.05 0.08 0.12	— 21 19 17	— 0.21 0.26 0.31	19 17 15 14	0.26 0.37 0.42 0.52	16 15 14 13	0.37 0.47 0.57 0.68	15 14 13 —	0.42 0.57 0.68 —	— — — —	— — — —
	20/6		0.03 0.05 0.08 0.12	19 18 16 15	0.31 0.37 0.4 0.50	16 14 13 12	0.44 0.56 0.75 0.88	15 13 11 10	0.63 0.75 0.94 1.13	13 11 — —	0.75 0.94 — —	— — — —	— — — —
60	25/3	25	0.05 0.08 0.12 0.18	— — — —	— — — —	18 16 15 14	0.37 0.47 0.52 0.63	16 14 13 —	0.47 0.57 0.73 —	14 13 12 —	0.57 0.73 0.89 —	13 11 — —	0.78 0.94 — —
	25/6		0.03 0.05 0.08 0.12	— — — —	— — — —	— 15 14 13	— 0.63 0.75 0.88	15 13 12 11	0.63 0.82 1.00 1.19	13 12 11 —	0.75 1.00 1.25 —	12 11 10 —	1.00 1.32 1.63 —

（续）

T/min	d_0/z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	槽深 a_p/mm									
				5		10		15		20		30	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
90	32/4	32	0.05	—	—	—	—	14	0.52	13	0.68	11	0.89
			0.08	—	—	14	0.52	12	0.68	11	0.84	10	1.10
			0.12	—	—	13	0.63	11	0.84	10	0.99	—	—
			0.18	—	—	12	0.73	—	—	—	—	—	—
	32/8		0.05	—	—	—	—	12	0.98	11	1.18	10	1.60
			0.08	—	—	12	0.91	11	1.25	10	1.46	9	1.95
			0.12	—	—	11	1.11	10	1.46	9	1.81	—	—
			0.18	—	—	10	1.32	9	1.74	—	—	—	—

注：表内铣削用量能达到表面粗糙度值 $Ra3.2\mu m$。

10. 硬质合金圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率（见表 5-28）

表 5-28 硬质合金圆柱铣刀铣削钢及灰铸铁的铣削速度及铣削功率

T/min	d_0/z	a_p/mm	YT15 铣刀加工 R_m =650MPa 的结构碳钢、铬钢、镍铬钢									YG8 铣刀加工 190HBW 的灰铸铁								
			f_z/(mm/z)	铣削切削层公称宽度 a_w/mm								f_z/(mm/z)	铣削切削层公称宽度 a_w/mm							
				1.5		3		5		8			2		3		5		8	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW		v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
180	63/8	40	0.15	110	5.4	90	8.1	73	10.4	—	—	0.10	93	1.9	88	2.6	72	3.35	—	—
			0.20	101	6.3	82	9.0	68	11.7	—	—	0.20	82	2.9	77	3.9	62	5.1	—	—
180	80/8	40	0.15	115	4.5	92	6.8	77	8.6	—	—	0.10	103	1.65	96	2.25	78	2.9	—	—
			0.20	106	4.9	86	7.7	71	9.9	—	—	0.20	90	2.6	85	3.45	69	4.45	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30	77	3.2	69	4.9	56	5.05	—	—
180	100/10	40	0.15	117	4.5	95	6.8	78	9.0	65	11.3	0.10	111	1.85	101	2.45	82	3.15	68	3.95
			0.20	108	5.4	87	8.1	72	10.4	60	13.1	0.20	98	2.85	89	3.75	72	4.8	60	6.2
			0.30	95	6.3	78	9.5	64	12.2	53	15.8	0.30	81	3.25	73	4.2	59	5.65	49	6.7
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	71	3.6	64	4.65	52	6.2	43	7.7
180	125/12	40	0.15	119	4.5	97	7.2	79	9.0	67	11.3	0.10	119	1.95	106	2.5	87	3.25	72	4.15
			0.20	110	5.4	89	8.1	73	10.4	62	13.1	0.20	103	2.95	94	3.85	76	5.0	63	6.2
			0.30	99	6.8	80	9.9	65	12.6	55	15.8	0.30	86	3.4	77	4.4	63	5.65	52	7.2
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40	75	3.70	68	4.85	55	6.2	45	7.7

11. YT15 硬质合金三面刃圆盘铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢（R_m =650MPa）的铣削速度及铣削功率（见表 5-29）

表 5-29 YT15 硬质合金三面刃圆盘铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢（R_m =650MPa）的铣削速度及铣削功率（GB/T 5341—2006）

T/min	d_0/Z	a_p/mm	f_z/(mm/z)	a_w/mm 12		20		30		50	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
铣平面及凸台											
120	100/8	6	0.06	146	1.36	120	1.68	100	1.92	—	—
			0.12	134	2.04	110	2.52	94	2.96	—	—
			0.15	126	2.20	100	2.64	86	3.16	—	—
			0.19	115	2.36	92	2.92	78	3.36	—	—
			0.24	104	2.56	84	3.12	72	3.68	—	—
180	160/10	6	0.06	134	1.12	110	1.36	92	1.60	—	—
			0.12	124	1.68	100	2.00	86	2.40	—	—
			0.15	116	1.80	94	2.24	80	2.64	—	—
			0.19	108	1.92	86	2.40	72	2.76	—	—
			0.24	96	2.08	78	2.56	66	3.00	—	—
240	200/12	6	0.06	128	0.92	104	1.12	90	1.36	72	1.60
			0.12	118	1.40	96	1.68	82	2.04	67	2.44
			0.15	108	1.48	90	1.80	77	2.16	62	2.72
			0.19	100	1.60	82	2.00	70	2.32	57	2.88
			0.24	92	1.76	74	2.12	63	2.48	52	3.08
铣槽											
120	100/8	20	0.03	190	2.60	162	3.52	144	4.40	—	—
			0.06	158	3.92	136	5.20	120	6.80	—	—
			0.09	134	4.40	116	6.40	102	8.00	—	—
			0.12	120	5.20	100	6.80	90	9.20	—	—
			0.15	112	6.00	96	8.00	84	10.4	—	—
180	160/10	20	0.03	156	2.20	150	3.04	132	3.88	—	—
			0.06	144	3.24	124	4.40	110	5.60	—	—
			0.09	124	3.92	106	5.20	94	6.80	—	—
			0.12	110	4.40	92	6.00	84	8.00	—	—
			0.15	102	4.80	88	6.80	78	8.80	—	—
240	200/12	20	0.03	168	1.92	144	2.60	128	3.40	110	4.80
			0.06	140	2.84	120	3.92	106	5.20	90	6.80
			0.09	118	3.36	102	4.80	90	6.00	77	8.40
			0.12	106	3.84	88	5.20	80	6.80	69	10.0
			0.15	98	4.40	84	6.00	75	7.60	64	10.4

12. YT15 硬质合金面铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢（R_m =650MPa）的铣削速度及铣削功率（见表 5-30）

表 5-30 YT15 硬质合金面铣刀铣削结构碳钢、铬钢、镍铬钢（R_m =650MPa）的铣削速度及铣削功率（GB/T 5342—2006）

T/min	d_0/Z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	背吃刀量 a_p/mm 3 v/(m/min)	3 P_m/kW	5 v/(m/min)	5 P_m/kW	9 v/(m/min)	9 P_m/kW	12 v/(m/min)	12 P_m/kW
180	100/5	60	0.07	173	2.48	166	4.05	157	7.20	—	—
			0.10	150	2.88	144	4.50	135	8.10	—	—
			0.13	135	3.24	130	5.40	121	9.00	—	—
			0.18	119	3.83	114	6.30	108	10.4	—	—
180	125/6	75	0.07	173	3.06	166	4.82	157	8.10	—	—
			0.10	150	3.33	144	5.63	135	9.45	—	—
			0.13	135	3.92	130	6.44	121	10.8	—	—
			0.18	119	4.50	114	7.43	108	12.8	—	—
180	160/8	96	0.07	173	4.05	166	6.62	157	11.4	—	—
			0.10	150	4.59	144	7.20	135	12.6	—	—
			0.13	135	5.36	130	8.42	121	14.4	—	—
			0.18	119	5.99	114	9.59	108	16.8	—	—
240	200/10	120	0.10	141	5.06	135	9.00	128	15.2	128	20.8
			0.13	128	6.19	121	10.1	114	17.4	114	23.1
			0.18	112	7.31	108	11.8	101	20.6	101	27.0
			0.24	101	7.88	96	13.5	90	22.5	90	30.4
240	250/12	150	0.10	141	6.08	135	10.8	128	18.2	128	24.9
			0.13	128	7.43	121	12.2	114	20.9	114	28.4
			0.18	112	8.78	108	14.2	101	23.6	101	31.7
			0.24	101	10.1	96	15.5	90	27.0	90	35.8
300	315/16	190	0.10	137	7.92	130	13.7	123	23.0	121	31.0
			0.13	121	9.36	117	15.1	110	25.9	110	35.3
			0.18	108	10.8	103	17.3	96	30.2	96	40.3
			0.24	96	12.2	92	20.2	86	33.8	—	—
420	400/20	240	0.10	126	9.75	121	16.5	114	28.5	114	38.3
			0.13	114	11.3	108	18.0	103	31.5	103	42.0
			0.18	101	13.5	96	21.0	92	36.8	—	—
			0.24	90	15.0	85	24.0	80	40.5	—	—
			0.30	82	16.5	78	26.3	—	—	—	—

13. YG8 硬质合金面铣刀铣削灰铸铁(190HBW)的铣削速度及铣削功率(见表5-31)

表5-31 YG8 硬质合金面铣刀铣削灰铸铁(190HBW)的铣削速度及铣削功率(GB/T 5342—2006)

T/min	$\frac{d_0}{Z}$	a_w/mm	f_z/(mm/z)	背吃刀量 a_p/mm 3		5		8		12		18	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
180	$\frac{100}{5}$	60	0.10	81	1.03	75	1.50	70	2.10	—	—	—	—
			0.14	72	1.16	67	1.67	62	2.36	—	—	—	—
			0.20	64	1.33	59	1.93	55	2.78	—	—	—	—
180	$\frac{125}{6}$	75	0.10	81	1.23	75	1.80	70	2.52	—	—	—	—
			0.14	72	1.39	67	2.00	62	2.83	—	—	—	—
			0.20	64	1.59	59	2.31	55	3.34	—	—	—	—
			0.28	57	1.80	52	2.57	49	3.86				
180	$\frac{160}{8}$	96	0.10	81	1.59	75	2.36	70	3.24	66	4.73		
			0.14	72	1.85	67	2.72	62	3.80	59	5.29	—	—
			0.20	64	2.11	59	3.08	55	4.42	52	5.86	—	—
			0.28	57	2.42	52	3.55	49	4.99	46	6.78	—	—
			0.40	50	2.78	46	4.11	43	5.86	41	7.92		
180	$\frac{200}{10}$	120	0.14	72	2.31	67	3.21	62	4.82	59	6.43	55	9.00
			0.20	64	2.70	59	3.86	55	5.46	52	7.39	49	10.3
			0.28	57	3.02	52	4.50	49	6.43	46	8.67	44	11.5
			0.40	50	3.53	46	5.14	43	7.39	41	9.96	39	13.5
			0.60	43	4.18	40	5.78	38	8.67	35	11.6	—	—
240	$\frac{250}{12}$	150	0.14	66	2.53	61	3.70	57	5.24	53	7.09	50	9.56
			0.20	58	2.90	54	4.32	50	6.17	47	8.33	44	11.1
			0.28	52	3.39	48	4.93	45	6.91	42	9.56	40	12.6
			0.40	46	3.70	42	5.55	40	8.02	37	10.8	—	—
			0.60	40	4.32	36	6.48	34	9.25	32	12.6	—	—
300	$\frac{315}{16}$	190	0.14	62	3.15	57	4.45	53	6.37	50	8.98	47	12.0
			0.20	54	3.63	50	5.21	47	7.47	44	10.1	42	13.7
			0.28	48	4.11	45	5.96	42	8.57	39	11.6	37	15.8
			0.40	43	4.80	40	6.72	36	9.73	34	13.4	—	—
			0.60	37	5.55	34	8.22	32	11.7	30	15.8	—	—
420	$\frac{400}{20}$	240	0.20	48	4.04	45	5.87	42	8.44	40	11.4	37	15.4
			0.28	43	4.63	40	6.61	38	9.55	35	13.2	33	17.6
			0.40	38	5.29	35	7.71	33	11.0	31	15.1	29	20.2
			0.60	33	6.24	31	9.18	29	12.9	—	—	—	—
			0.80	30	6.98	28	10.3	26	14.3	—	—	—	—

14. YG8 硬质合金面铣刀铣削可锻铸铁(150HBW)的铣削速度及铣削功率(见表 5-32)

表 5-32　YG8 硬质合金面铣刀铣削可锻铸铁(150HBW)的铣削速度及铣削功率(GB/T 5342—2006)

T/min	d_0/Z	a_w/mm	f_z/(mm/z)	背吃刀量 a_p/mm							
				2		4		8		12	
				v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW	v/(m/min)	P_m/kW
180	$\frac{100}{5}$	60	0.10	102	0.92	91	1.51	81	2.98	—	—
			0.18	94	1.33	86	2.52	76	4.58	—	—
180	$\frac{125}{6}$	75	0.10	102	1.10	91	2.04	81	3.58	—	—
			0.18	94	1.60	86	3.03	76	5.50	—	—
			0.25	89	1.98	79	3.58	70	6.60	—	—
180	$\frac{160}{8}$	96	0.10	102	1.49	91	2.70	81	4.95	—	—
			0.18	94	2.15	86	4.07	76	7.15	—	—
			0.25	89	2.59	79	4.73	70	8.47	—	—
			0.36	79	3.14	70	5.67	62	10.5	—	—
180	$\frac{200}{10}$	120	0.10	102	1.86	91	3.37	81	6.19	75	8.59
			0.18	94	2.68	86	5.16	76	8.94	71	12.7
			0.25	89	3.30	79	5.84	70	10.7	65	15.5
			0.36	79	3.78	70	7.22	62	13.1	58	18.6
			0.50	71	4.47	63	8.59	56	15.1	—	—
240	$\frac{250}{12}$	150	0.10	93	2.05	83	3.63	74	6.93	69	9.57
			0.18	85	2.97	78	5.61	69	10.2	65	14.5
			0.25	80	3.63	72	6.60	64	11.9	59	17.2
			0.36	72	3.96	64	7.92	57	14.5	—	—
			0.50	64	5.28	57	9.24	51	17.2	—	—
300	$\frac{315}{16}$	190	0.10	86	2.49	76	4.40	69	8.43	64	11.7
			0.18	79	3.67	73	6.97	64	12.0	60	16.0
			0.25	74	4.40	67	8.07	59	14.4	55	20.5
			0.36	67	5.21	59	9.53	53	17.2	—	—
			0.50	60	6.01	53	11.0	47	20.4	—	—
402	$\frac{400}{20}$	240	0.10	78	2.99	69	5.50	62	9.43	57	14.1
			0.18	71	4.32	65	7.46	58	14.5	54	20.4
			0.25	67	5.11	59	9.43	53	17.3	—	—
			0.36	59	6.29	53	11.4	47	20.8	—	—
			0.50	53	7.46	48	13.4	—	—	—	—
			0.75	47	9.04	42	16.1	—	—	—	—

15. YG8 硬质合金面铣刀铣削耐热钢(1Cr18Ni9Ti)的铣削速度及铣削功率(见表 5-33)

表 5-33 YG8 硬质合金面铣刀铣削耐热钢(1Cr18Ni9Ti)的铣削速度及铣削功率

(GB/T 5342—2006)

T/min	$\frac{d_0}{Z}$	a_w/mm	f_z/(mm/z)	背吃刀量 a_p/mm 2 v/(m/min)	2 P_m/kW	4 v/(m/min)	4 P_m/kW	8 v/(m/min)	8 P_m/kW
180	$\frac{100}{5}$	60	0.05	53.0	0.54	51	1.00	49	1.75
			0.075	47	0.63	45	1.16	43	2.08
			0.11	42	0.78	40	1.33	38	2.5
			0.16	37	0.92	36	1.67	34	3.0
180	$\frac{125}{6}$	75	0.05	53	0.6	51	1.1	49	1.9
			0.075	47	0.74	45	1.3	43	2.4
			0.11	42	0.88	40	1.6	38	2.9
			0.16	37	1.0	36	1.9	34	3.5
180	$\frac{160}{8}$	96	0.05	53	0.8	51	1.4	49	2.5
			0.075	47	0.92	45	1.7	43	3.0
			0.11	42	1.1	40	2.1	38	3.7
			0.16	37	1.3	36	2.5	34	4.5
			0.24	33	1.7	32	3.0	30	5.4
240	$\frac{200}{10}$	120	0.05	49	0.88	47	1.63	45	2.88
			0.075	44	1.06	42	1.88	40	3.5
			0.11	39	1.25	37	2.25	35	4.13
			0.16	34	1.5	33	2.75	31	5.0
			0.24	31	1.88	29	3.38	28	6.13
			0.36	27	2.25	26	4.13	25	7.5
240	$\frac{250}{12}$	150	0.05	49	1.06	47	1.8	45	3.36
			0.075	44	1.20	42	2.28	40	4.08
			0.11	30	1.44	37	2.76	35	4.8
			0.16	34	1.8	33	3.12	31	5.88
			0.24	31	2.16	29	3.84	28	7.08
			0.36	27	2.64	26	4.68	25	8.52

5.2.5 钻孔切削用量

1. 高速钢钻头钻削不同材料的切削用量(见表 5-34)

表 5-34 高速钢钻头钻削不同材料的切削用量

加工材料		硬度		切削速度 v/(m/min)	钻头直径 d_0/mm					钻头螺旋角/(°)	钻尖角/(°)	备注
		布氏 HBW	洛氏 HRB		<3	3~6	6~13	13~19	19~25			
					进给量 f/(mm/r)							
铝及铝合金		45~105	~62	105	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	32~42	90~118	—
铜及铜合金	高加工性	~124	10~70	60	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	15~40	118	—
	低加工性	~124	10~70	20	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	0~25	118	—
镁及镁合金		50~90	~52	45~120	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	25~35	118	—
锌合金		80~100	41~62	75	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	32~42	118	—
碳钢	~0.25C	125~175	71~88	24	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~35	118	—
	~0.50C	175~225	88~98	20	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~35	118	
	~0.90C	175~225	88~98	17	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~35	118	
合金钢	0.12~0.25C	175~225	88~98	21	0.08	0.15	0.20	0.40	0.48	25~35	118	—
	0.30~0.65C	175~225	88~98	15~18	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	25~35	118	
马氏体时效钢		275~325	28~35 HRC	17	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~32	118~135	
不锈钢	奥氏体	135~185	75~90	17	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	25~35	118~135	用含钴高速钢
	铁素体	135~185	75~90	20	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	25~35	118~135	
	马氏体	135~185	75~88	20	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	25~35	118~135	用含钴高速钢
	沉淀硬化	150~200	82~94	15	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	25~35	118~135	用含钴高速钢
工具钢		196	94	18	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~35	118	—
		241	24HRC	15	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	25~35	118	
灰铸铁	软	120~150	~80	43~46	0.08	0.15	0.25	0.40	0.48	20~30	90~118	
	中硬	160~220	80~97	24~34	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	14~25	90~118	
可锻铸铁		112~126	~71	27~37	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	20~30	90~118	—
球墨铸铁		190~225	~98	18	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	14~25	90~118	—
高温合金	镍基	150~300	~32	6	0.04	0.08	0.09	0.11	0.13	28~35	118~135	用含钴高速钢
	铁基	180~230	89~99	7.5	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	28~35	118~135	
	钴基	180~230	89~99	6	0.04	0.08	0.09	0.11	0.13	28~35	118~135	

（续）

加工材料		硬度		切削速度 v/(m/min)	钻头直径 d_0/mm					钻头螺旋角/(°)	钻尖角/(°)	备注
		布氏 HBW	洛氏 HRB		<3	3~6	6~13	13~19	19~25			
					进给量 f/(mm/r)							
钛及钛合金	纯钛	110~200	~94	30	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	30~38	135	—
	α 及 $\alpha+\beta$	300~360	31~39 HRC	12	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	30~38	135	用含钴高速钢
	β	275~350	29~38 HRC	7.5	0.04	0.08	0.09	0.11	0.13	30~38	135	
碳		—	—	18~21	0.04	0.08	0.09	0.11	0.13	25~35	90~118	—
塑料		—	—	30	0.08	0.13	0.20	0.26	0.32	15~25	118	—
硬橡胶		—	—	30~90	0.05	0.09	0.15	0.21	0.26	10~20	90~118	—

2. 硬质合金钻头钻削不同材料的切削用量（见表 5-35）

表 5-35　硬质合金钻头钻削不同材料的切削用量

加工材料	抗拉强度 R_m/MPa	硬度 HBW	进给量 f/(mm/r)			切削速度 v/(m/min)			钻尖角/(°)	切削液
			d_0/mm							
			3~8	8~20	20~40	3~8	8~20	20~40		
工具钢、热处理钢	850~1200		0.02~0.04	0.04~0.08	0.08~0.12	25~32	30~38	35~40	115~120	非水溶性切削
	1200~1800		0.02	0.02~0.04		10~15	12~18		115~120	
淬硬钢		≥50 HRC	0.01~0.02	0.02~0.03		8~10	10~12		120~140	非水溶性切削
高锰钢(w_{Mn} = 12% ~14%)				0.03~0.05			10~16		120~140	
铸钢	≥700		0.02~0.05	0.05~0.12	0.12~0.18	25~32	30~38	35~40	115~120	
不锈钢			0.08~0.12	0.12~0.2		25~27	27~35		115~120	
耐热钢			0.01~0.05	0.05~0.1		3~6	5~8		115~120	
镍铬钢	1000	300	0.08~0.12	0.12~0.2		35~40	40~45		115~120	
	1400	420	0.04~0.05	0.05~0.08		15~20	20~25			
灰铸铁		≤250	0.04~0.08	0.08~0.16	0.16~0.3	40~60	50~70	60~80	115~120	干切或乳化液

（续）

加工材料	抗拉强度 R_m/MPa	硬度 HBW	进给量 f/(mm/r)			切削速度 v/(m/min)			钻尖角 /(°)	切削液
			d_0/mm							
			3~8	8~20	20~40	3~8	8~20	20~40		
合金铸铁		250~350	0.02~0.04	0.03~0.08	0.06~0.16	20~40	25~50	30~60	115~120	非水溶性切削油或乳化液
		350~450	0.02~0.04	0.03~0.06	0.05~0.1	8~20	10~25	12~30		
冷硬铸铁		65~85HS	0.01~0.03	0.02~0.04	0.03~0.06	5~8	6~10	8~12	120~140	
可锻铸铁、球墨铸铁			0.03~0.05	0.05~0.1	0.1~0.2	40~45	45~50	50~60	115~120	干切或乳化液
黄铜			0.06~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	80~100	90~110	100~120	115~125	
铸造青铜			0.06~0.08	0.08~0.12	0.12~0.2	50~70	55~75	60~80	115~125	
磷青铜			0.15~0.2	0.2~0.5		50~85	80~85		115~125	
铝合金		≥80	0.06~0.1	0.1~0.18	0.18~0.25	100~120	110~130	120~140	115~120	乳化液或水溶性切削液
硅铝合金(w_{Si}=14%以上)			0.03~0.06	0.06~0.08	0.08~0.12	50~60	55~70	60~80	115~120	
硬质纸			0.08~0.12	0.12~0.18	0.18~0.25	60~100	80~120	100~140	90	—
热固性树脂(加入充填物)			0.04~0.06	0.06~0.12	0.12~0.2	60~80	70~90	80~100	80~130	—
玻璃			手进	手进	手进	9~10	10~11	11~12	玻璃锥	煤油、水
陶瓷器			手进	手进	手进	5~8	7~10	9~12	90	—
大理石、石板、砖			手进	手进	手进	18~24	21~27	24~30	大理石锥	
硬质岩混凝土			手进	手进	手进	3~5	4~6	5~8	90	水
塑料、胶木			手进	手进	手进	50~55	55~60	60~70	118	—
硬橡胶			0.05~0.06	0.06~0.15	0.12~0.22	18~21	21~24	24~26	60~70	
硬质纤维			0.2~0.4			80~150			140	—
酚醛树脂			0.2~0.4			100~120			70~80	—
玻璃纤维复合材料			0.063~0.127			198			118~130	—
贝壳			手进			30~60			60~70	—

注：硬质合金牌号按 ISO 选用 K10 或 K20 对应的国内牌号。

3. 群钻加工钢件时的切削用量(见表5-36)

表5-36 群钻加工钢件时的切削用量

加工材料			深径比 l/d_0	切削用量	直径 d_0/mm								
碳钢(10,15,20,35,40,45,50等)	合金钢(40Cr,38CrSi,60Mn,35CrMo,20CrMnTi等)	其他钢种			8	10	12	16	20	25	30	35	40
<207HBW正火或 R_m<600MPa	HBW<143或 R_m<50MPa	易切钢	≤3	f/(mm/r)	0.24	0.32	0.40	0.5	0.6	0.67	0.75	0.81	0.9
				v/(m/min)	20	20	20	21	21	21	22	22	22
			3~8	f/(mm/r)	0.20	0.26	0.32	0.38	0.48	0.55	0.6	0.67	0.75
				v/(m/min)	16	16	16	17	17	17	18	18	18
170~229HBW或 R_m=600~800MPa	143~207HBW或 R_m=500~700MPa	碳素工具钢、铸钢	≤3	f/(mm/r)	0.2	0.28	0.35	0.4	0.5	0.56	0.62	0.69	0.75
				v/(m/min)	16	16	16	17	17	17	18	18	18
			3~8	f/(mm/r)	0.17	0.22	0.28	0.32	0.4	0.45	0.5	0.56	0.62
				v/(m/min)	13	13	13	13.5	13.5	13.5	14	14	14
229~285HBW或 R_m=800~1000MPa	207~255HBW或 R_m=700~900MPa	合金工具钢、合金铸钢、易切不锈钢	≤3	f/(mm/r)	0.17	0.22	0.28	0.32	0.4	0.45	0.5	0.56	0.62
				v/(m/min)	12	12	12	12.5	12.5	12.5	13	13	13
			3~8	f/(mm/r)	0.13	0.18	0.22	0.26	0.32	0.36	0.4	0.45	0.5
				v/(m/min)	11	11	11	11.5	11.5	11.5	12	12	12
285~321HBW或 R_m=1000~1200MPa	255~302HBW或 R_m=900~1100MPa	奥氏体不锈钢	≤3	f/(mm/r)	0.18	0.22	0.26	0.32	0.36	0.40	0.45	0.56	0.62
				v/(m/min)	9	9	9	10	10	10	11	11	11
			3~8	f/(mm/r)	0.12	0.15	0.18	0.22	0.26	0.3	0.32	0.38	0.41
				v/(m/min)	9	9	9	10	10	10	11	11	11

注：1. 钻头平均寿命为60~120min。
2. 当钻床—刀具系统刚性低，钻孔精度要求高和排屑、冷却不良时，应适当降低进给量 f 和切削速度 v。
3. 全部使用切削液。

4. 群钻加工铸铁件时的切削用量(见表5-37)

表5-37 群钻加工铸铁件时的切削用量

加工材料		深径比 l/d_0	切削用量	直径 d_0/mm								
灰铸铁	可锻铸、锰铸铁			8	10	12	16	20	25	30	35	40
163~229HBW(HT100、HT150)	可锻铸铁(≤229HBW)	≤3	f/(mm/r)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75	0.81	0.9	1	1.1
		≤3	v/(m/min)	20	20	20	21	21	21	22	22	22
		3~8	f/(mm/r)	0.24	0.32	0.4	0.5	0.6	0.67	0.75	0.81	0.9
			v/(m/min)	16	16	16	17	17	17	18	18	18
170~269HBW(HT200以上)	可锻铸铁(197~269HBW)锰铸铁	≤3	f/(mm/r)	0.24	0.32	0.4	0.5	0.6	0.67	0.75	0.81	0.9
			v/(m/min)	16	16	16	17	17	17	18	18	18
		3~8	f/(mm/r)	0.2	0.26	0.32	0.38	0.48	0.55	0.6	0.67	0.75
			v/(m/min)	13	13	13	14	14	14	15	15	15

注：1. 钻头平均寿命为120min。
2. 应使用乳化液冷却。
3. 当钻床—刀具系统刚性低、钻孔精度要求高和钻削条件不好时(如带铸造黑皮)，应适当降低进给量 f 与切削速度 v。

5.2.6 扩孔钻与锪钻的切削用量

1. 高速钢及硬质合金扩孔钻的进给量（见表5-38）

2. 高速钢扩孔钻加工结构碳钢（R_m = 650MPa）**时的切削速度**（见表5-39）。

表5-38 高速钢及硬质合金扩孔钻的进给量

扩孔钻直径 d_0/mm	加工不同材料时的进给量 f/(mm/r)		
	钢及铸钢	铸铁、铜合金及铝合金	
		≤200HBW	>200～450HBW
≤15	0.5～0.6	0.7～0.9	0.5～0.6
>15～20	0.6～0.7	0.9～1.1	0.6～0.7
>20～25	0.7～0.9	1.0～1.2	0.7～0.8
>25～30	0.8～1.0	1.1～1.3	0.8～0.9
>30～35	0.9～1.1	1.2～1.5	0.9～1.0
>35～40	0.9～1.2	1.4～1.7	1.0～1.2
>40～50	1.0～1.3	1.6～2.0	1.2～1.4
>50～60	1.1～1.3	1.8～2.2	1.3～1.5
>60～80	1.2～1.5	2.0～2.4	1.4～1.7

注：1. 加工强度及硬度较低的材料时，采用较大值；加工强度及硬度较高的材料时，采用较小值。
2. 在扩盲孔时，进给量取为0.3～0.6mm/r。
3. 表列进给量用于：精度不高于H12～H13级的孔，以后还要用扩孔钻和铰刀加工的孔，还要用两把铰刀加工的孔。
4. 当加工孔的要求较高时，例如H8～H11级精度的孔、还要用一把铰刀加工的孔、用丝锥攻螺纹前的扩孔，则进给量应乘系数0.7。

表5-39 高速钢扩孔钻加工结构碳钢（R_m = 650MPa）时的切削速度

（单位：m/min）

进给量 f/(mm/r)	d_0 = 15mm 整体 a_p = 1mm	d_0 = 20mm 整体 a_p = 1.5mm	d_0 = 25mm 整体 a_p = 1.5mm	d_0 = 25mm 套式 a_p = 1.5mm
		—	—	—
0.3	34.0	38.0	29.7	26.5
0.4	29.4	32.1	25.7	22.9
0.5	26.3	28.7	23.0	20.5
0.6	24.0	26.2	21.0	18.7
0.7	22.2	24.2	19.4	17.3
0.8	—	22.7	18.2	16.2
0.9	—	21.4	17.1	15.3
1.0	—	20.3	16.2	14.5
1.2	—	—	14.8	13.2

（续）

进给量 $f/(\mathrm{mm/r})$	$d_0=30\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=1.5\mathrm{mm}$	$d_0=30\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=1.5\mathrm{mm}$	$d_0=35\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=1.5\mathrm{mm}$	$d_0=35\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=1.5\mathrm{mm}$	$d_0=40\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=2\mathrm{mm}$
0.4	27.1	24.2	25.2	22.4	24.7
0.5	24.3	21.7	22.5	20.1	22.1
0.6	22.1	19.8	20.5	18.3	20.2
0.7	20.5	18.3	19.0	17.0	18.7
0.8	19.2	17.1	17.8	15.9	17.5
0.9	18.1	16.1	16.8	15.0	16.5
1.0	17.2	15.3	15.9	14.2	15.6
1.2	15.6	14.0	14.5	13.0	14.3
1.4	14.5	12.9	13.4	12.0	13.2
1.6	—	—	12.6	11.2	12.3

进给量 $f/(\mathrm{mm/r})$	$d_0=40\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=2\mathrm{mm}$	$d_0=50\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=2.5\mathrm{mm}$	$d_0=60\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=3\mathrm{mm}$	$d_0=70\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=3.5\mathrm{mm}$	$d_0=80\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=4\mathrm{mm}$
0.5	19.7	18.5	17.6	—	—
0.6	18.0	16.9	16.1	15.5	14.4
0.7	16.7	15.6	14.9	14.3	13.4
0.8	15.6	14.6	13.9	13.4	12.5
1.0	14.0	13.1	12.5	12.0	11.1
1.2	12.7	12.0	11.4	10.9	10.2
1.4	11.8	11.1	10.5	10.1	9.4
1.6	11.0	10.4	9.9	9.5	8.8
1.8	—	9.8	9.3	8.9	8.3
2.0	—	9.3	8.8	8.5	7.9
2.2	—	—	8.4	8.1	7.5
2.4	—	—	—	7.7	7.2

注：全部使用切削液。

3. 高速钢扩孔钻加工灰铸铁（190HBW）时的切削速度（见表5-40）。

表5-40 高速钢扩孔钻加工灰铸铁（190HBW）时的切削速度

（单位：m/min）

进给量 $f/(\mathrm{mm/r})$	$d_0=15\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=1\mathrm{mm}$	$d_0=20\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=1\mathrm{mm}$	$d_0=25\mathrm{mm}$ 整体 $a_p=1.5\mathrm{mm}$	$d_0=25\mathrm{mm}$ 套式 $a_p=1.5\mathrm{mm}$
0.3	33.1	35.1	—	—
0.4	29.5	31.3	29.4	26.4
0.5	27.0	28.6	26.9	24.1
0.6	25.1	26.6	25.0	22.4
0.8	22.4	23.7	22.3	20.0
1.0	20.5	21.7	20.4	18.3
1.2	19.0	20.1	19.0	17.0
1.4	—	18.9	17.8	16.0
1.6	—	17.9	16.9	15.1
1.8	—	—	16.1	14.4

（续）

进给量 $f/(mm/r)$	$d_0=30mm$ 整体 $a_p=1.5mm$	$d_0=30mm$ 套式 $a_p=1.5mm$	$d_0=35mm$ 整体 $a_p=1.5mm$	$d_0=35mm$ 套式 $a_p=1.5mm$	$d_0=40mm$ 整体 $a_p=2mm$
0.5	28.0	23.7	—	—	—
0.6	26.0	23.2	25.7	23.0	25.6
0.8	23.0	20.7	22.9	20.5	22.8
1.0	21.2	19.0	20.9	18.7	20.9
1.2	19.7	17.6	19.5	17.4	19.4
1.4	18.5	16.6	18.3	16.4	18.3
1.6	17.5	15.7	17.3	15.5	17.3
1.8	16.7	15.0	16.5	14.8	16.5
2.0	16.0	14.4	15.9	14.2	15.8
2.4	—	—	14.7	12.4	14.7
2.8	—	—	—	—	13.8

进给量 $f/(mm/r)$	$d_0=40mm$ 套式 $a_p=2mm$	$d_0=50mm$ 套式 $a_p=2.5mm$	$d_0=60mm$ 套式 $a_p=3mm$	$d_0=70mm$ 套式 $a_p=3.5mm$	$d_0=80mm$ 套式 $a_p=4mm$
0.6	23.0	—	—	—	—
0.8	20.5	20.3	20.1	—	—
1.0	18.7	18.5	18.4	18.3	18.2
1.2	17.4	17.2	17.1	17.0	16.9
1.4	16.4	16.2	16.1	16.0	15.9
1.6	15.5	15.4	15.2	15.2	15.1
2.0	14.2	14.0	13.9	13.9	13.8
2.4	13.2	13.1	13.0	12.9	12.8
2.8	12.4	12.3	12.2	12.1	12.1
3.2	—	11.6	11.6	11.5	11.4
3.6	—	—	11.0	11.0	10.9
4.0	—	—	—	10.5	10.5

4. 硬质合金扩孔钻的切削速度（见表5-41）

表5-41 硬质合金扩孔钻的切削速度

（单位：m/min）

(1) YT15硬质合金扩孔钻在碳钢及合金钢($R_m=650MPa$)上扩孔，加切削液					
进给量 $f/(mm/r)$	$d_0=15mm$ $a_p=1mm$	$d_0=20mm$ $a_p=1mm$	$d_0=25mm$ $a_p=1.5mm$	$d_0=30mm$ $a_p=1.5mm$	$d_0=35mm$ $a_p=1.5mm$
0.20	58	—	—	—	—
0.25	55	65	—	—	—
0.30	52	61	60	—	—
0.35	49	59	58	—	—
0.40	47	56	55	62	—
0.45	46	54	53	60	62
0.50	44	53	52	58	60
0.60	42	50	49	55	57
0.70	40	48	47	52	54

（续）

（1）YT15硬质合金扩孔钻在碳钢及合金钢（R_m =650MPa）上扩孔，加切削液					
进给量 $f/(mm/r)$	d_0 =15mm a_p =1mm	d_0 =20mm a_p =1mm	d_0 =25mm a_p =1.5mm	d_0 =30mm a_p =1.5mm	d_0 =35mm a_p =1.5mm
0.80	—	46	45	50	52
0.90	—	—	43	48	50
1.00	—	—	—	47	49
进给量 $f/(mm/r)$	d_0 =40mm a_p =2mm	d_0 =50mm a_p =2.5mm	d_0 =60mm a_p =3mm	d_0 =70mm a_p =3.5mm	d_0 =80mm a_p =4mm
0.45	63	—	—	—	—
0.50	61	61	62	63	64
0.60	58	58	59	60	60
0.70	55	56	56	57	57
0.80	53	53	54	55	55
0.90	51	52	52	53	53
1.00	50	50	50	51	52
1.20	47	47	48	48	49
1.40	—	45	46	46	47

（2）YG8硬质合金扩孔钻在灰铸铁（190HBW）上扩孔					
进给量 $f/(mm/r)$	d_0 =15mm a_p =1mm	d_0 =20mm a_p =1mm	d_0 =25mm a_p =1.5mm	d_0 =30mm a_p =1.5mm	d_0 =35mm a_p =1.5mm
0.30	86	—	—	—	—
0.35	80	90	—	—	—
0.40	76	85	78	84	—
0.50	68	77	70	76	73
0.60	63	71	65	70	68
0.70	59	66	60	65	63
0.80	55	62	57	61	60
0.90	52	59	54	58	56
1.0	—	56	51	55	54
1.2	—	—	47	51	50
进给量 $f/(mm/r)$	d_0 =40mm a_p =2mm	d_0 =50mm a_p =2.5mm	d_0 =60mm a_p =3mm	d_0 =70mm a_p =3.5mm	d_0 =80mm a_p =4mm
0.50	74	—	—	—	—
0.60	68	63	60	—	—
0.70	64	59	56	54	52
0.80	60	56	53	50	49
0.90	57	53	50	48	46
1.0	54	50	48	46	44
1.2	50	46	44	42	41
1.4	47	43	41	39	38
1.6	44	41	38	37	36
2.0	—	37	35	33	32
2.4	—	—	—	31	30

5. 锪钻的切削用量（见表5-42）

表5-42 高速钢及硬质合金锪钻加工的切削用量

加工材料	高速钢锪钻		硬质合金锪钻	
	进给量 f/(mm/r)	切削速度 v/(m/min)	进给量 f/(mm/r)	切削速度 v/(m/min)
铝	0.13 ~ 0.38	120 ~ 245	0.15 ~ 0.30	15 ~ 245
黄铜	0.13 ~ 0.25	45 ~ 90	0.15 ~ 0.30	120 ~ 210
软铸铁	0.13 ~ 0.18	37 ~ 43	0.15 ~ 0.30	90 ~ 107
软钢	0.08 ~ 0.13	23 ~ 26	0.10 ~ 0.20	75 ~ 90
合金钢及工具钢	0.08 ~ 0.13	12 ~ 24	0.10 ~ 0.20	55 ~ 60

5.2.7 铰孔的切削用量

1. 高速钢及硬质合金机用铰刀的进给量（见表5-43）

2. 高速钢铰刀加工不同材料的切削用量（见表5-44）

表5-43 高速钢及硬质合金机用铰刀的进给量

铰刀直径/mm	高速钢铰刀				硬质合金铰刀			
	钢		铸铁		钢		铸铁	
	$R_m \leqslant$ 900MPa	$R_m >$ 900MPa	≤170HBS 铸铁铜及铝合金	>170HBS	未淬硬钢	淬硬钢	≤170HBS	>170HBS
≤5	0.2 ~ 0.5	0.15 ~ 0.35	0.6 ~ 1.2	0.4 ~ 0.8	—	—	—	—
>5 ~ 10	0.4 ~ 0.9	0.35 ~ 0.7	1.0 ~ 2.0	0.65 ~ 1.3	0.35 ~ 0.5	0.25 ~ 0.35	0.9 ~ 1.4	0.7 ~ 1.1
>10 ~ 20	0.65 ~ 1.4	0.55 ~ 1.2	1.5 ~ 3.0	1.0 ~ 2.0	0.4 ~ 0.6	0.30 ~ 0.40	1.0 ~ 1.5	0.8 ~ 1.2
>20 ~ 30	0.8 ~ 1.8	0.65 ~ 1.5	2.0 ~ 4.0	1.3 ~ 2.6	0.5 ~ 0.7	0.35 ~ 0.45	1.2 ~ 1.8	0.9 ~ 1.4
>30 ~ 40	0.95 ~ 2.1	0.8 ~ 1.8	2.5 ~ 5.0	1.6 ~ 3.2	0.6 ~ 0.8	0.40 ~ 0.50	1.3 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5
>40 ~ 60	1.3 ~ 2.8	1.0 ~ 2.3	3.2 ~ 6.4	2.1 ~ 4.2	0.7 ~ 0.9	—	1.6 ~ 2.4	1.25 ~ 1.8
>60 ~ 80	1.5 ~ 3.2	1.2 ~ 2.6	3.75 ~ 7.5	2.6 ~ 5.0	0.9 ~ 1.2	—	2.0 ~ 3.0	1.5 ~ 2.2

注：1. 表内进给量用于加工通孔。加工盲孔时，进给量应取为0.2 ~ 0.5mm/r。
2. 最大进给量用于在钻或扩孔之后，精铰孔之前的粗铰孔。
3. 中等进给量用于：
1）粗铰之后精铰H7级精度的孔。
2）精镗之后精铰H7级精度的孔。
3）对硬质合金铰刀，用于精铰H8 ~ H9级精度的孔。
4. 最小进给量用于：
1）抛光或珩磨之前的精铰孔。
2）用一把铰刀铰H8 ~ H9级精度的孔。
3）对硬质合金铰刀，用于精铰H7级精度的孔。

表5-44 高速钢铰刀加工不同材料的切削用量

铰刀直径 d_0/mm	低碳钢 120 ~ 200HBW		低合金钢 200 ~ 300HBW		高合金钢 300 ~ 400HBW		软铸铁 130HBW		中硬铸铁 175HBW		硬铸铁 230HBW	
	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v
6	0.13	23	0.10	18	0.10	7.5	0.15	30.5	0.15	26	0.15	21

（续）

铰刀直径 d_0/mm	低碳钢 120~200HBW		低合金钢 200~300HBW		高合金钢 300~400HBW		软铸铁 130HBW		中硬铸铁 175HBW		硬铸铁 230HBW	
	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v
9	0.18	23	0.18	18	0.15	7.5	0.20	30.5	0.20	26	0.20	21
12	0.20	27	0.20	21	0.18	9	0.25	36.5	0.25	29	0.25	24
15	0.25	27	0.25	21	0.20	9	0.30	36.5	0.30	29	0.30	24
19	0.30	27	0.30	21	0.25	9	0.38	36.5	0.38	29	0.36	24
22	0.33	27	0.33	21	0.25	9	0.43	36.5	0.43	29	0.41	24
25	0.51	27	0.38	21	0.30	9	0.51	36.5	0.51	29	0.41	24

铰刀直径 d_0/mm	可锻铸铁		铸造黄铜及青铜		铸造铝合金及锌合金		塑　料		不　锈　钢		钛　合　金	
	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v
6	0.10	17	0.13	46	0.15	43	0.13	21	0.05	7.5	0.15	9
9	0.18	20	0.18	46	0.20	43	0.18	21	0.10	7.5	0.20	9
12	0.20	20	0.23	52	0.25	49	0.20	24	0.15	9	0.25	12
15	0.25	20	0.30	52	0.30	49	0.25	24	0.20	9	0.25	12
19	0.30	20	0.41	52	0.38	49	0.30	24	0.25	11	0.30	12
22	0.33	20	0.43	52	0.43	49	0.33	24	0.30	12	0.38	18
25	0.38	20	0.51	52	0.51	49	0.51	24	0.36	14	0.51	18

注：v 的单位为 m/min；f 的单位为 mm/r。

3. 硬质合金铰刀铰孔的切削用量（见表5-45）

表5-45　硬质合金铰刀铰孔的切削用量

加工材料			铰刀直径 d_0/mm	背吃刀量 a_p/mm	进给量 f/(mm/r)	切削速度 v/(m/min)
钢	R_m/MPa	≤1000	<10 10~20 20~40	0.08~0.12 0.12~0.15 0.15~0.20	0.15~0.25 0.20~0.35 0.30~0.50	6~12
		>1000	<10 10~20 20~40	0.08~0.12 0.12~0.15 0.15~0.20	0.15~0.25 0.20~0.35 0.30~0.50	4~10
铸钢(R_m≤700MPa)			<10 10~20 20~40	0.08~0.12 0.12~0.15 0.15~0.20	0.15~0.25 0.20~0.35 0.30~0.50	6~10
灰铸铁 HBW		≤200	<10 10~20 20~40	0.08~0.12 0.12~0.15 0.15~0.20	0.15~0.25 0.20~0.35 0.30~0.50	8~15
		>200	<10 10~20 20~40	0.08~0.12 0.12~0.15 0.15~0.20	0.15~0.25 0.20~0.35 0.30~0.50	5~10

（续）

加工材料		铰刀直径 d_0/mm	背吃刀量 a_p/mm	进给量 f/(mm/r)	切削速度 v/(m/min)
冷硬铸铁(65～80HS)		<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	3～5
黄铜		<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	10～20
铸青铜		<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	15～30
铜		<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	6～12
铝合金	$w_{Si}\leqslant 7\%$	<10 10～20 20～40	0.09～0.12 0.14～0.15 0.18～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	15～30
	$w_{Si}>14\%$	<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	10～20
热塑性树脂		<10 10～20 20～40	0.09～0.12 0.14～0.15 0.18～0.20	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	15～30
热固性树脂		<10 10～20 20～40	0.08～0.12 0.12～0.15 0.15～0.27	0.15～0.25 0.20～0.35 0.30～0.50	10～20

注：粗铰（Ra1.6～3.2μm）钢和灰铸铁时，切削速度也可增至60～80m/min。

5.2.8 镗孔的切削用量

镗孔的切削用量见表5-46。

表5-46 镗孔的切削用量

加工方式	刀具材料	刀具类型	铸铁		钢(包括铸钢)		铜、铝及其合金		a_p/mm (直径上)
			v/(m/min)	f/(mm/r)	v/(m/min)	f/(mm/r)	v/(m/min)	f/(mm/r)	
粗镗	高速钢	刀头	20～35	0.3～1.0	20～40	0.3～1.0	100～150	0.4～1.5	5～8
		镗刀块	25～40	0.3～0.8			120～150	0.4～1.5	
	硬质合金	刀头	40～80	0.3～1.0	40～60	0.3～1.0	200～250	0.4～1.5	
		镗刀块	35～60	0.3～0.8			200～250	0.4～1.0	

（续）

加工方式	刀具材料	刀具类型	铸铁		钢（包括铸钢）		铜、铝及其合金		a_p/mm（直径上）
			v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	v /(m/min)	f /(mm/r)	
半精镗	高速钢	刀头	25～40	0.2～0.8	30～50	0.2～0.8	150～200	0.2～1.0	1.5～3
		镗刀块	30～40	0.2～0.6			150～200	0.2～1.0	
		粗铰刀	15～25	2.0～5.0	10～20	0.5～3.0	30～50	2.0～5.0	0.3～0.8
	硬质合金	刀头	60～100	0.2～0.8	80～120	0.2～0.8	250～300	0.2～0.8	1.5～3
		镗刀块	50～80	0.2～0.6			250～300	0.2～0.6	
		粗铰刀	30～50	3.0～5.0			80～120	3.0～5.0	0.3～0.8
精镗	高速钢	刀头	15～30	0.15～0.5	20～35	0.1～0.6	150～200	0.2～1.0	0.6～1.2
		镗刀块	8～15	1.0～4.0	6.0～12	1.0～4.0	20～30	1.0～4.0	
		精铰刀	10～20	2.0～5.0	10～20	0.5～3.0	30～50	2.0～5.0	0.1～0.4
	硬质合金	刀头	50～80	0.15～0.5	60～100	0.15～0.5	200～250	0.15～0.5	0.6～1.2
		镗刀块	20～40	1.0～4.0	8.0～20	1.0～40	30～50	1.0～4.0	
		精铰刀	30～50	2.5～5.0			50～100	2.0～5.0	0.1～0.4

注：1. 镗杆以镗套支承时，v 取中间值；镗杆悬伸时，v 取小值。
2. 当加工孔径较大时，a_p 取大值；加工孔径较小，且加工精度要求较高时，a_p 取小值。

5.3 切削液

切削加工时，正确使用切削液，可以减小切削力、降低切削温度、减少刀具磨损，同时减小工件、刀具热变形和加工表面的表面粗糙度值，达到保证加工质量和提高生产率的目的。

5.3.1 切削液的作用

切削液主要起冷却和润滑作用，同时还有良好的清洗和防锈作用。此外，要求切削液无毒、无异味，不影响人体健康，不变质和具有良好的化学稳定性等。

（1）冷却作用 切削液依靠热传导能从切削区带走大量的切削热，从而降低切削温度。对于切削速度高、工件与刀具材料导热性差、热膨胀系数大、刀具材料耐热性差等情况，切削液的冷却作用尤显重要。切削液的冷却效果取决于它本身的性能（如热导率、比热、汽化热和汽化速度等）、用量（流量、流速和压力等）温度及使用方法。各种切削液中，一般是水溶液的冷却性能最好，乳化切削液次之，油基切削液最差。

（2）润滑作用 切削液渗入到刀具、切屑、工件加工表面之间，形成一层薄的润滑膜或化学吸附膜，因而能减小它们之间的摩擦。其润滑效果取决于切削液的渗透能力和形成吸附膜的牢固程度。在切削液中加入含有硫、氯等元素的极压添加剂，可以提高其润滑能力。

（3）清洗作用 切削液能够冲洗掉切削加工中产生的碎屑或磨粒，这对于避免加工脆性材料形成崩碎切屑以及磨削、深孔加工等尤为重要。切削液的清洗性能与其渗透性、流动性和使用的压力、流量有关。

（4）防锈作用 切削液在使用过程中，会因四处飞溅而污染机床、刀具和工件等。因此，需在切削液中加入防锈剂，能在金属表面形成一层附着力很强的保护膜，或与金属化合而形成钝化膜，从而防止工件和机床、刀具等锈化。

5.3.2 切削液中的添加剂

为了改善切削液性能而加入的各种化学物质称为添加剂。添加剂主要有以下几种：

（1）油性添加剂　油性添加剂含有极性分子，能与金属表面形成牢固的吸附膜，但只有在较低在温度下才产生较好的润滑作用，故多用于低速精加工中。常用的油性添加剂有动物油、植物油、脂肪酸、胺类、醇类、酯类、酮类等化合物。

（2）极压添加剂　极压添加剂是含有硫、磷、氯、碘等的有机化合物，能在高温下与金属表面产生化学反应，形成能耐较高温度与压力的化学润滑膜，在切削加工中能防止金属界面直接接触，减小摩擦与保持良好的润滑条件。

（3）表面活性剂　表面活性剂即乳化剂，它既有使矿物油和水乳化形成乳化液的作用，又能吸附在金属表面形成润滑膜产生润滑作用。常用的表面活性剂有石油磺酸钠、油酸钠皂、聚氯乙烯等。表面活性剂还具有一定的精洗和防锈性能。

（4）其他添加剂　其他添加剂主要有以下几种：

1）防锈添加剂；如亚硝酸钠、磷酸三钠、苯甲酸钠、磷酸氢二钠、苯甲酸胺、三乙醇胺、石油磺酸钠、石油磺酸钡、环烷酸锌等。

2）抗泡沫添加剂：如二甲基硅油等。

3）防霉添加剂：如苯酚、五氯酚、硫柳汞等化合物。

4）乳化稳定剂：如乙醇、正丁醇、乙二醇、二甘醇、高碳醇、苯乙醇胺、三乙醇胺等。

根据实际需要，合理使用几种添加剂，可制备出效果良好的切削液。

5.3.3 切削液的种类

金属切削加工中，广泛使用的切削液主要是水基切削液和油基切削液。水基切削液的冷却能力强，油基切削液的润滑性能好，分述如下：

（1）水基切削液　水基切削液有乳化液和合成切削液，通常是将切削液原液用水稀释后再使用。稀释液中的水约占90%以上。在乳化切削液中加入适当的极压添加剂和防锈添加剂，可制成极压乳化液和防锈乳化液。

（2）油基切削液　油基切削液的主要成分是基础油（矿物油、植物油、动物油及合成油）。在基础油中可适当加入油溶性添加剂，如极压添加剂、油性剂、抗氧化剂、防腐蚀剂等，制成多种性能的油基切削液，以适应不同加工的需要。

5.3.4 切削液的选择

切削液的种类繁多、性能各异，在切削加工中应根据工件及刀具材料、加工方法与加工要求的具体情况进行合理选择，才能取得良好的效果。

（1）根据加工要求选择　粗加工时产生的切削热大，应选用以冷却为主的水基切削液；精加工时，为获得良好的表面质量，应选用以润滑为主的油基切削液。

（2）根据刀具材料的性能选择　对于低速切削刀具（如高速钢刀具），加工时为降低切削温度和减少摩擦，应使用切削液；而耐热性能好的硬质合金刀具，一般加工时可不使用切削液，如必须使用切削液时，应连续、大流量地使用，避免因冷热不均而产生很大的热应力，导致刀具表面裂纹，损坏刀具。

（3）根据工件材料的性质选择　切削钢等塑性材料时，应使用切削液；加工铸铁等脆性材料时，一般不使用切削液，以免形成的崩碎切屑污染工作地，甚至因不易清理而损伤机床导轨。如果必须使用，则应采用煤油等易于切屑分离的切削液。

对于高强度钢、高温合金等难加工材料，切削时宜采用极压乳化液或极压切削油，以适应极压润滑摩擦状况，达到降低切削温度和提高加工表面质量的目的。

（4）根据加工方法选择　对于钻孔、铰孔、拉削等，由于导向部分和校准部分与已加工表面摩擦较大，常选用极压切削液，加工成形表面时，为保证刀具有较高的刀具寿命，通常选用润滑性能好的切削油，或极压切削油及高浓度的极压乳化液。磨削加工时，因磨屑微小且磨削温度高，通常选用冷却和清洗性能良好的水基切削液。磨削难加工材料时，则应选用极压乳化切削液。

5.3.5 切削液的合理使用方法

切削液的使用方法主要有浇注法、高压冷

却法和喷雾冷却法。选择合理的使用方法，才能充分发挥切削液的冷却、润滑作用。

（1）浇注法　浇注法是切削液普遍使用的方法。这种方法设备简单、使用方便，但由于切削液的流速慢、压力低，难以渗透入最高温度区，因而影响其冷却、润滑效果。在使用时，应尽量将切削液浇注到切削区内。

（2）高压冷却法　高压冷却法是将高压（1～10MPa）切削液以50～150L/min的流量，直接作用到切削区进行冷却润滑并冲走切屑。这种方法效果良好，常用于深孔加工中。

（3）喷雾冷却法　喷雾冷却法是以0.3～0.6MPa的压缩空气，通过雾化装置使切削液雾化，并被高速喷射到切削区内。切削液在高温下迅速汽化，吸收大量的切削热，冷却效果十分良好，能显著提高刀具寿命和工件加工质量。喷雾冷却装置原理图见图5-4。

几种常用的切削液，见表5-47。

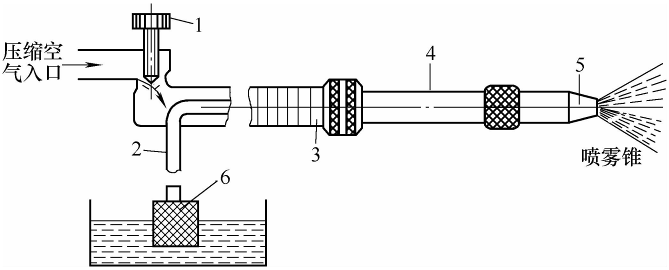


图5-4　喷雾冷却装置原理图

1—调节螺钉　2—虹吸管　3—软管　4—调节杆　5—喷嘴　6—过滤器

表5-47　几种常用的切削液

加工类型		工件材料：碳钢	合金钢	不锈钢及耐热钢	铸铁及黄铜	青铜	铝及合金
车铣及镗孔	粗加工	3%～5%乳化液	1）5%～15%乳化液 2）5%石墨或硫化乳化液 3）5%氯化石蜡油制乳化液	1）10%～30%乳化液 2）10%～15%极压乳化液 3）含硫、磷、氯的切削油	1）一般不用 2）3%～5%乳化液	一般不用	1）一般不用 2）中性或含有游离酸小于4mg的弱性乳化液
车铣及镗孔	精加工	1）石墨化或硫化乳化液 2）5%乳化液（高速时） 3）10%～15%乳化液（低速时）		1）氧化煤油 2）煤油75%、油酸或植物油25% 3）煤油60%、松节油20%、油酸20% 4）15%～20%极压乳化液 5）含硫、磷、氯的切削油	黄铜一般不用，铸铁： 1）煤油 2）煤油与矿物油的混合油	7%～10%乳化液	1）煤油 2）松节油 3）煤油与矿物油的混合物
钻孔		1）7%硫化乳化液 2）硫化切削油		1）3%肥皂加2%亚麻油（不锈钢钻孔） 2）10%～20%极压乳化液 3）含硫、磷、氯的切削油	1）黄铜：一般不加 2）10%～15%乳化液	1）7%～10%乳化液 2）硫化乳化液	1）一般不用 2）煤油 3）煤油与菜油的混合油

（续）

<table>
<tr><th rowspan="2">加工类型</th><th colspan="6">工 件 材 料</th></tr>
<tr><th>碳钢</th><th>合金钢</th><th>不锈钢及耐热钢</th><th>铸铁及黄铜</th><th>青铜</th><th>铝及合金</th></tr>
<tr><td rowspan="2">铰孔</td><td colspan="2" rowspan="2">1）硫化乳化液
2）10% ~15% 极压乳化液
3）硫化油与煤油混合液（中速）
4）含硫磷、氯的切削油
5）含氯的切削油
6）含硫、氯的切削油</td><td rowspan="2">1）10% 乳化液
2）含硫氯磷切削油
3）含硫、氯的切削油
4）含氯的切削油</td><td rowspan="2">铸铁：
1）煤油
2）煤油与矿物油的混合物
黄铜：
1）一般不加
2）菜油</td><td colspan="2">1）2 号锭子油
2）2 号锭子油与蓖麻油的混合物
3）煤油和菜油的混合物
4）10% ~20% 乳化液
5）10% ~15% 极压乳化液</td></tr>
<tr><td>6）含氯的切削油</td><td>6）煤油
7）煤油与矿物油的混合油</td></tr>
</table>

注：百分数均为质量分数。

第 6 章　公差配合与表面粗糙度

6.1　极限与配合

《极限与配合》是一项应用广泛、重要的基础标准。它是实现机器零部件互换与协调零件使用、制造一致性的技术保证，同时在机器的设计、制造、使用和维修中，直接影响产品的精度、性能、寿命和生产成本。

6.1.1　术语和定义

极限与配合的术语和定义参照 GB/T 1800.1—2009。

（1）公称尺寸　公称尺寸是按设计要求给定的尺寸（见图 6-1），可以是一个整数或小数。

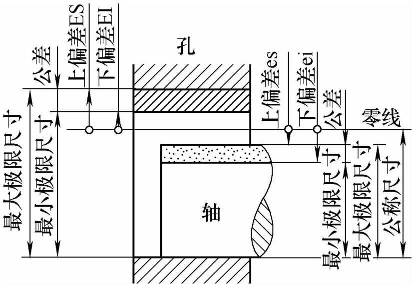


图 6-1　极限尺寸、偏差与公差示意图

（2）实际尺寸　通过测量得到的尺寸，由于存在测量误差，故实际尺寸并非真值。

（3）极限尺寸　某一尺寸允许变动的两个界限值。其中，较大的界限值称为上极限尺寸，较小的界限值称为下极限尺寸。

（4）尺寸偏差（简称偏差）　尺寸偏差是指某一尺寸减去其公称尺寸所得的代数差，其值可为正、负或零。

1）极限偏差。极限偏差是指极限尺寸减去其公称尺寸所得的代数差。其中，上极限尺寸与公称尺寸之差称为上偏差；下极限尺寸与公称尺寸之差称为下极限偏差。孔的上极限偏差用 ES 表示，孔的下极限偏差用 EI 表示；轴的上极限偏差用 es 表示，轴的下极限偏差用 ei 表示（见图 6-2）。

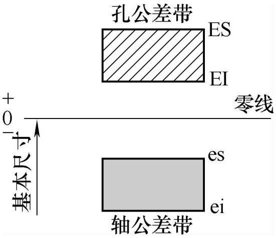


图 6-2　公差带图

2）实际偏差。实际偏差是指实际尺寸减去其公称尺寸所得的代数差。

（5）尺寸公差（简称公差）　尺寸公差是指零件尺寸允许的变动量。由图 6-1 可见：公差 = 上极限尺寸 − 下极限尺寸 = 上极限偏差 − 下极限偏差。

（6）零线　在公差带图中（见图 6-2），确定偏差的一条基准轴线为零偏差线（简称零线）。通常，零线表示基本尺寸，正偏差位于零线的上方，负偏差位于零线的下方。

（7）公差带　图 6-2 中，由代表上极限偏差、下极限偏差（ES、EI 及 es、ei）的两条直线之间所限定的区域，或图 6-1 中上极限尺寸和下极限尺寸之间所限定的区域称为公差带。标准规定，由标准公差值确定公差带的大小，由基本偏差确定公差带相对于零线的位置。

（8）标准公差　标准公差是指由国家标准规定的标准化的公差值，它确定了公差带的大小。

（9）基本偏差　基本偏差是指用来确定公差带相对于零线位置的上极限偏差或下极限偏差。标准规定，以靠近零线的极限偏差为基本偏差。当公差带位于零线上方时，下极限偏差是基本偏差；而公差带位于零线下方时，则上极限偏差为基本偏差；如果上、下极限偏差对称分布在零线上，其上、下极限偏差中的任何一个都可作为基本偏差。

（10）配合　公称尺寸相同并相互结合的孔、轴公差带之间的关系称为配合。按孔和轴结合的松紧程度，配合可分为间隙配合、过盈配合和过渡配合。

（11）间隙或过盈　在孔、轴配合时，孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差为正值时，称为间隙；为负值时，称为过盈。

（12）间隙配合　间隙配合是指孔的公差带完全位于轴的公差带之上，孔、轴配合时具有间隙（包括最小间隙为零）的配合（见图6-3）。间隙配合中，孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸为最大间隙；孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸为最小间隙。

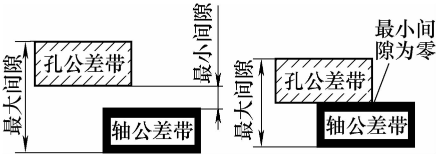


图6-3　间隙配合

（13）过盈配合　过盈配合是指孔的公差带完全位于轴的公差带之下，孔、轴配合时具有过盈（包括最小过盈为零）的配合（见图6-4）。过盈配合中，孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸为最小过盈；孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸为最大过盈。

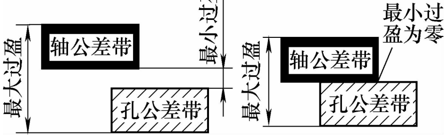


图6-4　过盈配合

（14）过渡配合　过渡配合是指孔的公差带和轴的公差带相互重叠，孔、轴配合时，可能具有间隙、也可能具有过盈的配合（见图6-5）。孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸为最大间隙；孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸为最大过盈。

（15）配合公差　配合公差是指允许间隙

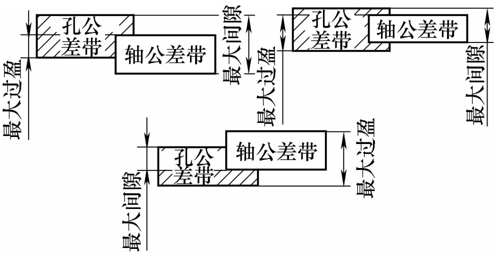


图6-5　过渡配合

或过盈的变动量。配合公差等于相配合孔、轴的公差之和。对于间隙配合，配合公差等于最大与最小间隙代数差的绝对值；对于过盈配合，配合公差等于最小过盈与最大过盈代数差的绝对值；而过渡配合的配合公差，则为最大间隙与最大过盈代数差的绝对值。

6.1.2　国家标准的基本规定

（1）标准公差　公称尺寸≤500mm的标准公差值见表6-1。

（2）基本偏差　GB/T 1800.1—2009规定了28种孔和轴的基本偏差，其代号用拉丁字母表示。大写字母代表孔，小写字母代表轴。由图6-6可见，轴的基本偏差从a到h为上极限偏差（es），j～zc为下极限偏差（ei），js的公差带在零线上对称分布，其基本偏差是上极限偏差或下极限偏差。孔的基本偏差从A至H为下极限偏差（EI），从J～ZC为上极限偏差（ES），JS则为上极限偏差或下极限偏差。

由基本偏差和标准公差可组成各种公差带，公差带代号用基本偏差代号与公差等级数字组成。例如H7、F8、D9等为孔的公差带代号，h11、g5、n6为轴的公差带代号。

（3）公差带极限偏差的确定　按照给定的公称尺寸和公差带代号，便可由基本偏差表和标准公差表确定其极限偏差。如公差带在零线上方，则孔的下极限偏差（EI）及轴的下极限偏差（ei）为基本偏差，而另一极限偏差，即孔的上极限偏差（ES）和轴的上极限偏差（es）可由下式确定：

$$ES = EI + IT$$

$$es = ei + IT$$

表 6-1 公称尺寸≤500mm 的标准公差值(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm	公差等级																		
	μm														/mm				
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
≤3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
>3~6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
>6~10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
>10~18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
>18~30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
>30~50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
>50~80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
>80~120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
>120~180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
>180~250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
>250~315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
>315~400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
>400~500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7

注:1mm 以下无 IT14~IT18。

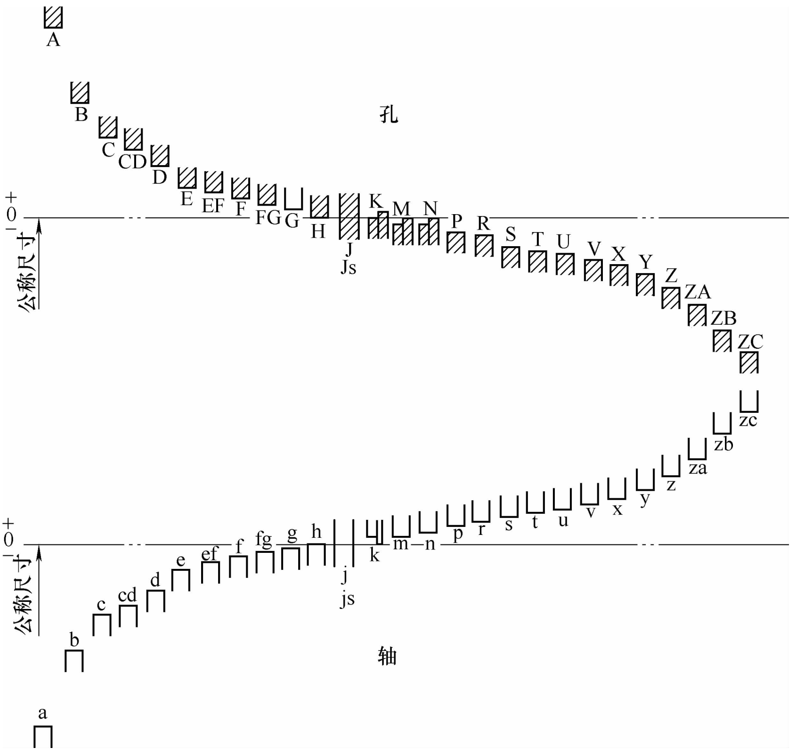


图 6-6 基本偏差系列图

如果公差带在零线的下方，则孔的上极限偏差（ES）和轴的上极限偏差（es）为极限偏差，而另一极限偏差，即孔的下极限偏差（EI）和轴的下极限偏差（ei）可由下式确定：

$$EI = ES - IT$$

$$ei = es - IT$$

公称尺寸≤500mm 的轴、孔的基本偏差值分别见表 6-2、表 6-3。

（4）配合制　配合制双称基准制，即以两个相配合零件中的一个作为基准件，并令其公差带的位置固定，而通过改变另一相配合零件（非基准件）的公差带位置，来形成各种配合的一种制度。GB/T 1800.1—2009 规定了两种配合制：基孔制和基轴制。在一般情况下，优先采用基孔制。

1）基孔制。基本偏差固定不变的孔公差带，与不同基本偏差的轴公差带形成各种配合的一种制度。基孔制中，孔的下极限偏差 EI 为零，称为基准孔，代号为“H”。

2）基轴制。基本偏差固定不变的轴公差带，与不同基本偏差的孔公差带形成各种配合的一种制度。基轴制中，轴的上极限偏差 es 为零，称为基准轴，代号为“h”。

采用基准制，可以统一基准件的极限偏差，达到减少定尺寸刀具（钻头、铰刀等）、量具（量规）的数量，从而获取更大的经济效益。在生产中，当基孔制和基轴制都不能满足使用要求时，也允许采用非基准制配合。在这种配合中，孔非基准孔，轴非基准轴。

6.1.3 孔、轴的极限偏差与配合

（1）公称尺寸≤500mm 孔的极限偏差　公称尺寸≤500mm 孔的极限偏差见表 6-4。

（2）公称尺寸≤500mm 轴的极限偏差　公称尺寸≤500mm 轴的极限偏差见表 6-5。

表 6-2 公称尺寸≤500mm 的轴的基本偏差数值(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm	基本偏差/μm															
	上极限偏差 es												下极限偏差 ei			
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j			k
	所有的公差等级												5~6	7	8	4~7
≤3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	偏差等于±IT2	-2	-4	-6	0
>3~6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	—	+1
>6~10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	—	+1
>10~14 >14~18	-290	-150	-95	—	-50	-32	—	-16	—	-6	0		-3	-6	—	+1
>18~24 >24~30	-300	-160	-110	—	-65	-40	—	-20	—	-7	0		-4	-8	—	+2
>30~40	-310	-170	-120	—	-80	-50	—	-25	—	-9	0		-5	-10	—	+2
>40~50	-320	-180	-130													
>50~65	-340	-190	-140	—	-100	-60	—	-30	—	-10	0		-7	-12	—	+2
>65~80	-360	-200	-150													
>80~100	-380	-220	-170	—	-120	-72	—	-36	—	-12	0		-9	-15	—	+3
>100~120	-410	-240	-180													
>120~140	-460	-260	-200	—	-145	-85	—	-43	—	-14	0		-11	-18	—	+3
>140~160	-520	-280	-210													
>160~180	-580	-310	-230													
>180~200	-660	-340	-240	—	-170	-100	—	-50	—	-15	0		-13	-21	—	+4
>200~225	-740	-380	-260													
>225~250	-820	-420	-280													
>250~280	-920	-480	-300	—	-190	-110	—	-56	—	-17	0		-16	-26	—	+4
>280~315	-1050	-540	-330													
>315~355	-1200	-600	-360	—	-210	-125	—	-62	—	-18	0		-18	-28	—	+4
>355~400	-1350	-680	-400													
>400~450	-1500	-760	-440	—	-230	-135	—	-68	—	-20	0		-20	-32	—	+5
>450~500	-1650	-840	-480													

公称尺寸/mm	基本偏差/μm														
	下极限偏差 ei														
	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
	≤3 >7	所有的公差等级													
≤3	0	+2	+4	+6	+10	+14	—	+18	—	+20		+26	+32	+40	+60
>3～6	0	+4	+8	+12	+15	+19	—	+23	—	+28		+35	+42	+50	+80
>6～10	0	+6	+10	+15	+19	+23	—	+28	—	+34		+42	+52	+67	+97
>10～14	0	+7	+12	+18	+23	+28	—	+33	—	+40	—	+50	+64	+90	+130
>14～18									+39	+45		+60	+77	+108	+150
>18～24	0	+8	+15	+22	+28	+35	—	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
>24～30							+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
>30～40	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
>40～50							+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
>50～65	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
>65～80					+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
>80～100	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
>100～120					+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
>120～140	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
>140～160					+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
>160～180					+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
>180～200	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
>200～225					+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
>225～250					+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
>250～280	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
>280～315					+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
>315～355	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
>355～400					+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
>400～450	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
>450～500					+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。

2. js 的数值：对 IT7～IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 js =（IT－1）/2。

3. 特殊情况：当基本尺寸为 >250～315mm 时，M6 的 ES 等于 －9（不等于 －11）。

4. 对小于或等于 IT8 的 K、M、N 和小于或等于 IT7 的 P 至 ZC，所需 Δ 值从表内右侧栏选取。例如：>6～10mm 的 P6，Δ =3，所以 ES =（－15 +3）μm = －12μm。

表 6-3 公称尺寸≤500mm 的孔的基本偏差数值(*d*≤500mm)(GB/T 1800.1—2009)

公称尺寸/mm	基本偏差/μm																				
	下极限偏差 EI												上极限偏差 ES								
	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J			K		M		N	
	所有的公差等级												6	7	8	≤8	>8	≤8	>8	≤8	>8
≤3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	偏差等于±IT/2	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4
>3~6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+Δ	—	-4+Δ	-4	-8+Δ	0
>6~10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+Δ	—	-6+Δ	-6	-10+Δ	0
>10~14	+290	+150	+95	—	+50	+32	—	+16	—	+6	0		+6	+10	+15	-1+Δ	—	-7+Δ	-7	-12+Δ	0
>14~18																					
>18~24	+300	+160	+110	—	+65	+40	—	+20	—	+7	0		+8	+12	+20	-2+Δ	—	-8+Δ	-8	-15+Δ	0
>24~30																					
>30~40	+310	+170	+120	—	+80	+50	—	+25	—	+9	0		+10	+14	+24	-2+Δ	—	-9+Δ	-9	-17+Δ	0
>40~50	+320	+180	+130																		
>50~65	+340	+190	+140	—	+100	+60	—	+30	—	+10	0		+13	+18	+28	-2+Δ	—	-11+Δ	-11	-20+Δ	0
>65~80	+360	+200	+150																		
>80~100	+380	+220	+170	—	+120	+72	—	+36	—	+12	0		+16	+22	+34	-3+Δ	—	-13+Δ	-13	-23+Δ	0
>100~120	+410	+240	+180																		
>120~140	+460	+260	+200	—	+145	+85	—	+43	—	+14	0		+18	+26	+41	-3+Δ	—	-15+Δ	-15	-27+Δ	0
>140~160	+520	+280	+210																		
>160~180	+580	+310	+230																		
>180~200	+660	+340	+240	—	+170	+100	—	+50	—	+15	0		+22	+30	+47	-4+Δ	—	-17+Δ	-17	-31+Δ	0
>200~225	+740	+380	+260																		
>225~250	+820	+420	+280																		
>250~280	+920	+480	+300	—	+190	+110	—	+56	—	+17	0		+25	+36	+55	-4+Δ	—	-20+Δ	-20	-34+Δ	0
>280~315	+1050	+540	+330																		
>315~355	+1200	+600	+360	—	+210	+125	—	+62	—	+18	0		+29	+39	+60	-4+Δ	—	-21+Δ	-21	-37+Δ	0
>355~400	+1350	+680	+400																		
>400~450	+1500	+760	+440	—	+230	+135	—	+68	—	+20	0		+33	+43	+66	-5+Δ	—	-23+Δ	-23	-40+Δ	0
>450~500	+1650	+840	+480																		

（续）

公称尺寸/mm	基本偏差/μm													Δ/μm					
	上极限偏差 ES																		
	P～ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
	≤7	>7												3	4	5	6	7	8
≤3	在>7级的相应数值上增加一个Δ值	-6	-10	-14	—	-18	—	-20	—	-26	-32	-40	-60	0					
>3～6		-12	-15	-19	—	-20	—	-28	—	-35	-42	-50	-80	1	1.5	1	3	4	6
>6～10		-15	-19	-23	—	-28	—	-34	—	-42	-52	-67	-97	1	1.5	2	3	6	7
>10～14 >14～18		-18	-23	-28	—	-33	— -39	-40 -45	— —	-50 -60	-64 -77	-90 -108	-130 -150	1	2	3	3	7	9
>18～24 >24～30		-22	-28	-35	— -41	-41 -48	-47 -55	-54 -64	-65 -75	-73 -88	-98 -118	-136 -160	-188 -218	1.5	2	3	4	8	12
>30～40 >40～50		-26	-34	-43	-48 -54	-60 -70	-68 -81	-80 -95	-94 -114	-112 -136	-148 -180	-200 -242	-274 -325	1.5	3	4	5	9	14
>50～65 >65～80		-32	-41 -43	-53 -59	-66 -75	-87 -102	-102 -120	-122 -146	-144 -174	-172 -210	-226 -274	-300 -360	-400 -480	2	3	5	6	11	16
>80～100 >100～120		-37	-51 -54	-71 -79	-91 -104	-124 -144	-146 -172	-178 -210	-214 -254	-258 -310	-335 -400	-456 -525	-585 -690	2	4	5	7	13	19
>120～140 >140～160 >160～180		-43	-63 -65 -68	-92 -100 -108	-122 -134 -146	-170 -190 -210	-202 -228 -252	-248 -280 -310	-300 -340 -380	-365 -415 -465	-470 -535 -600	-620 -700 -780	-800 -900 -1000	3	4	6	7	15	23
>180～200 >200～225 >225～250		-50	-77 -80 -84	-122 -130 -140	-166 -180 -196	-236 -258 -284	-284 -310 -340	-350 -385 -425	-425 -470 -520	-520 -575 -640	-670 -740 -820	-880 -960 -1050	-1150 -1250 -1350	3	4	6	9	17	26
>250～280 >280～315		-56	-94 -98	-158 -170	-218 -240	-315 -350	-385 -425	-475 -525	-580 -650	-710 -790	-920 -1000	-1200 -1300	-1550 -1700	4	4	7	9	20	29
>315～355 >355～400		-62	-108 -114	-190 -208	-268 -294	-390 -435	-475 -530	-590 -660	-730 -820	-900 -1000	-1150 -1300	-1500 -1650	-1900 -2100	4	5	7	11	21	32
>400～450 >450～500		-68	-126 -132	-232 -252	-330 -360	-490 -540	-595 -660	-704 -820	-920 -1000	-1100 -1250	-1450 -1600	-1850 -2100	-2400 -2600	5	5	7	13	23	34

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 A 和 B 及大于 8 级的 N 均不采用。
2. JS 的数值：对 IT7～IT11，若 IT 的数值（μm）为奇数，则取 JS = ±（IT-2）/2。

表 6-4 公称尺寸≤500mm 孔的极限偏差(GB/T 1800.2—2009) (单位:μm)

公称尺寸/mm		A				B					C				
大于	至	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
—	3	+295 +270	+310 +270	+330 +270	+370 +270	+154 +140	+165 +140	+180 +140	+200 +140	+240 +140	+74 +60	+85 +60	+100 +60	+120 +60	+160 +60
3	6	+300 +270	+318 +270	+345 +270	+390 +270	+158 +140	+170 +140	+188 +140	+215 +140	+260 +140	+88 +70	+100 +70	+118 +70	+145 +70	+190 +70
6	10	+316 +280	+338 +280	+370 +280	+430 +280	+172 +150	+186 +150	+208 +150	+240 +150	+300 +150	+102 +80	+116 +80	+138 +80	+170 +80	+230 +80
10	18	+333 +290	+360 +290	+400 +290	+470 +290	+177 +150	+193 +150	+220 +150	+260 +150	+330 +150	+122 +95	+138 +95	+165 +95	+205 +95	+275 +95
18	30	+352 +300	+384 +300	+430 +300	+510 +300	+193 +160	+212 +160	+244 +160	+290 +160	+370 +160	+143 +110	+162 +110	+194 +110	+240 +110	+320 +110
30	40	+372 +310	+410 +310	+470 +310	+560 +310	+209 +170	+232 +170	+270 +170	+330 +170	+420 +170	+159 +120	+182 +120	+220 +120	+280 +120	+370 +120
40	50	+382 +320	+420 +320	+480 +320	+570 +320	+219 +180	+242 +180	+280 +180	+340 +180	+430 +180	+169 +130	+192 +130	+230 +130	+290 +130	+380 +130
50	65	+414 +340	+460 +340	+530 +340	+640 +340	+236 +190	+264 +190	+310 +190	+380 +190	+490 +190	+186 +140	+214 +140	+260 +140	+330 +140	+440 +140
65	80	+434 +360	+480 +360	+550 +360	+660 +360	+246 +200	+274 +200	+320 +200	+390 +200	+500 +200	+196 +150	+224 +150	+270 +150	+340 +150	+450 +150
80	100	+467 +380	+520 +380	+600 +380	+730 +380	+274 +220	+307 +220	+360 +220	+440 +220	+570 +220	+224 +170	+257 +170	+310 +170	+390 +170	+520 +170
100	120	+497 +410	+550 +410	+630 +410	+760 +410	+294 +240	+327 +240	+380 +240	+460 +240	+590 +240	+234 +180	+267 +180	+320 +180	+400 +180	+530 +180
120	140	+560 +460	+620 +460	+710 +460	+860 +460	+323 +260	+360 +260	+420 +260	+510 +260	+660 +260	+263 +200	+300 +200	+360 +200	+450 +200	+600 +200

（续）

公称尺寸/mm		A				B					C				
大于	至	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11	12
140	160	+620 +520	+680 +520	+770 +520	+920 +520	+343 +280	+380 +280	+440 +280	+530 +280	+680 +280	+273 +210	+310 +210	+370 +210	+460 +210	+610 +210
160	180	+680 +580	+740 +580	+830 +580	+980 +580	+373 +310	+410 +310	+470 +310	+560 +310	+710 +310	+293 +230	+330 +230	+390 +230	+480 +230	+630 +230
180	200	+775 +660	+845 +660	+950 +660	+1120 +660	+412 +340	+455 +340	+525 +340	+630 +340	+800 +340	+312 +240	+355 +240	+425 +240	+530 +240	+700 +240
200	225	+855 +740	+925 +740	+1030 +740	+1200 +740	+432 +380	+495 +380	+565 +380	+670 +380	+840 +380	+332 +260	+375 +260	+445 +260	+550 +260	+720 +260
225	250	+935 +820	+1005 +820	+1110 +820	+1280 +820	+492 +420	+535 +420	+605 +420	+710 +420	+880 +420	+352 +280	+395 +280	+465 +280	+570 +280	+740 +280
250	280	+1050 +920	+1130 +920	+1240 +920	+1440 +920	+561 +480	+610 +480	+690 +480	+800 +480	+1000 +480	+381 +300	+430 +300	+510 +300	+620 +300	+820 +300
280	315	+1180 +1050	+1260 +1050	+1370 +1050	+1570 +1050	+621 +540	+670 +540	+750 +540	+860 +540	+1060 +540	+411 +330	+460 +330	+540 +330	+650 +330	+850 +330
315	355	+1340 +1200	+1430 +1200	+1560 +1200	+1770 +1200	+689 +600	+740 +600	+830 +600	+960 +600	+1170 +600	+449 +360	+500 +360	+590 +360	+720 +360	+930 +360
355	400	+1490 +1350	+1580 +1350	+1710 +1350	+1920 +1350	+769 +680	+820 +680	+910 +680	+1040 +680	+1250 +680	+489 +400	+540 +400	+630 +400	+760 +400	+970 +400
400	450	+1655 +1500	+1750 +1500	+1900 +1500	+2130 +1500	+857 +760	+915 +760	+1010 +760	+1160 +760	+1390 +760	+537 +440	+595 +440	+690 +440	+840 +440	+1070 +440
450	500	+1805 +1650	+1900 +1650	+2050 +1650	+2280 +1650	+937 +840	+995 +840	+1090 +840	+1240 +840	+1470 +840	+577 +480	+635 +480	+730 +480	+880 +480	+1110 +480

（续）

公称尺寸/mm		D								E						F				
大于	至	6	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9
—	3	+26 +20	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20	+80 +20	+120 +20	+160 +20	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6
3	6	+38 +30	+42 +30	+48 +30	+60 +30	+78 +30	+105 +30	+150 +30	+210 +30	+25 +20	+28 +20	+32 +20	+38 +20	+50 +20	+68 +20	+15 +10	+18 +10	+22 +10	+28 +10	+40 +10
6	10	+49 +40	+55 +40	+62 +40	+76 +40	+98 +40	+130 +40	+190 +40	+260 +40	+31 +25	+34 +25	+40 +25	+47 +25	+61 +25	+83 +25	+19 +13	+22 +13	+28 +13	+35 +13	+49 +13
10	18	+61 +50	+68 +50	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+230 +50	+320 +50	+40 +32	+43 +32	+50 +32	+59 +32	+75 +32	+102 +32	+24 +16	+27 +16	+34 +16	+43 +16	+59 +16
18	30	+78 +65	+86 +65	+98 +65	+117 +65	+149 +65	+195 +65	+275 +65	+395 +65	+49 +40	+53 +40	+61 +40	+73 +40	+92 +40	+124 +40	+29 +20	+33 +20	+41 +20	+53 +20	+72 +20
30	50	+96 +80	+105 +80	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+240 +80	+330 +80	+470 +80	+61 +50	+66 +50	+75 +50	+89 +50	+112 +50	+150 +50	+36 +25	+41 +25	+50 +25	+64 +25	+87 +25
50	80	+119 +100	+130 +100	+146 +100	+174 +100	+220 +100	+290 +100	+440 +100	+560 +100	+73 +60	+79 +60	+90 +60	+106 +60	+134 +60	+180 +60	+43 +30	+49 +30	+60 +30	+76 +30	+104 +30
80	120	+142 +120	+155 +120	+174 +120	+207 +120	+260 +120	+340 +120	+470 +120	+660 +120	+87 +72	+94 +72	+107 +72	+125 +72	+159 +72	+212 +72	+51 +36	+58 +36	+71 +36	+90 +36	+123 +36
120	180	+170 +145	+185 +145	+208 +145	+245 +145	+305 +145	+395 +145	+545 +145	+775 +145	+103 +85	+110 +85	+125 +85	+148 +85	+185 +85	+245 +85	+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43	+143 +43
180	250	+199 +170	+216 +170	+242 +170	+285 +170	+355 +170	+460 +170	+630 +170	+890 +170	+120 +100	+129 +100	+146 +100	+172 +100	+215 +100	+285 +100	+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50	+165 +50
250	315	+222 +190	+242 +190	+271 +190	+320 +190	+400 +190	+510 +190	+710 +190	+1000 +190	+133 +110	+142 +110	+162 +110	+191 +110	+240 +110	+320 +110	+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56	+186 +56
315	400	+246 +210	+267 +210	+299 +210	+350 +210	+440 +210	+570 +210	+780 +210	+1100 +210	+150 +125	+161 +125	+182 +125	+214 +125	+265 +125	+355 +125	+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62	+202 +62
400	500	+270 +230	+293 +230	+327 +230	+385 +230	+480 +230	+630 +230	+860 +230	+1200 +230	+162 +135	+175 +135	+198 +135	+232 +135	+290 +135	+385 +135	+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68	+223 +68

（续）

<table>
<tr><td colspan="2">公称尺寸
/mm</td><td colspan="4">G</td><td colspan="15">H</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">大于</td><td rowspan="2">至</td><td colspan="19">偏　　差</td></tr>
<tr><td colspan="15">μm</td><td colspan="4">mm</td></tr>
<tr><td>—</td><td>3</td><td>+6
+2</td><td>+8
+2</td><td>+12
+2</td><td>+16
+2</td><td>+0.8
0</td><td>+1.2
0</td><td>+2
0</td><td>+3
0</td><td>+4
0</td><td>+6
0</td><td>+10
0</td><td>+14
0</td><td>+25
0</td><td>+40
0</td><td>+60
0</td><td>+0.1
0</td><td>+0.14
0</td><td>+0.25
0</td><td>+0.4
0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>6</td><td>+9
+4</td><td>+12
+4</td><td>+16
+4</td><td>+22
+4</td><td>+1
0</td><td>+1.5
0</td><td>+2.5
0</td><td>+4
0</td><td>+5
0</td><td>+8
0</td><td>+12
0</td><td>+18
0</td><td>+30
0</td><td>+48
0</td><td>+75
0</td><td>+0.12
0</td><td>+0.18
0</td><td>+0.3
0</td><td>+0.48
0</td></tr>
<tr><td>6</td><td>10</td><td>+11
+5</td><td>+14
+5</td><td>+20
+5</td><td>+27
+5</td><td>+1
0</td><td>+1.5
0</td><td>+2.5
0</td><td>+4
0</td><td>+6
0</td><td>+9
0</td><td>+15
0</td><td>+22
0</td><td>+36
0</td><td>+58
0</td><td>+90
0</td><td>+0.15
0</td><td>+0.22
0</td><td>+0.36
0</td><td>+0.58
0</td></tr>
<tr><td>10</td><td>18</td><td>+14
+6</td><td>+17
+6</td><td>+24
+6</td><td>+33
+6</td><td>+1.2
0</td><td>+2
0</td><td>+3
0</td><td>+5
0</td><td>+8
0</td><td>+11
0</td><td>+18
0</td><td>+27
0</td><td>+43
0</td><td>+70
0</td><td>+110
0</td><td>+0.18
0</td><td>+0.27
0</td><td>+0.43
0</td><td>0.7
0</td></tr>
<tr><td>18</td><td>30</td><td>+16
+7</td><td>+20
+7</td><td>+28
+7</td><td>+40
+7</td><td>+1.5
0</td><td>+2.5
0</td><td>+4
0</td><td>+6
0</td><td>+9
0</td><td>+13
0</td><td>+21
0</td><td>+33
0</td><td>+52
0</td><td>+84
0</td><td>+130
0</td><td>+0.21
0</td><td>+0.33
0</td><td>+0.52
0</td><td>+0.81
0</td></tr>
<tr><td>30</td><td>50</td><td>+20
+9</td><td>+25
+9</td><td>+34
+9</td><td>+48
+9</td><td>+1.5
0</td><td>+2.5
0</td><td>+4
0</td><td>+7
0</td><td>+11
0</td><td>+16
0</td><td>+25
0</td><td>+39
0</td><td>+62
0</td><td>+100
0</td><td>+160
0</td><td>+0.25
0</td><td>+0.39
0</td><td>+0.62
0</td><td>+1
0</td></tr>
<tr><td>50</td><td>80</td><td>+23
+10</td><td>+29
+10</td><td>+40
+10</td><td>+56
+10</td><td>+2
0</td><td>+3
0</td><td>+5
0</td><td>+8
0</td><td>+13
0</td><td>+19
0</td><td>+30
0</td><td>+46
0</td><td>+74
0</td><td>+120
0</td><td>+190
0</td><td>+0.3
0</td><td>+0.46
0</td><td>+0.74
0</td><td>+1.2
0</td></tr>
<tr><td>80</td><td>120</td><td>+27
+12</td><td>+34
+12</td><td>+47
+12</td><td>+66
+12</td><td>+2.5
0</td><td>+4
0</td><td>+6
0</td><td>+10
0</td><td>+15
0</td><td>+22
0</td><td>+35
0</td><td>+54
0</td><td>+87
0</td><td>+140
0</td><td>+220
0</td><td>+0.35
0</td><td>+0.54
0</td><td>+0.87
0</td><td>+1.4
0</td></tr>
<tr><td>120</td><td>180</td><td>+32
+14</td><td>+39
+14</td><td>+54
+14</td><td>+77
+14</td><td>+3.5
0</td><td>+5
0</td><td>+8
0</td><td>+12
0</td><td>+18
0</td><td>+25
0</td><td>+40
0</td><td>+63
0</td><td>+100
0</td><td>+160
0</td><td>+250
0</td><td>+0.4
0</td><td>+0.63
0</td><td>+1
0</td><td>+1.6
0</td></tr>
<tr><td>180</td><td>250</td><td>+35
+15</td><td>+44
+15</td><td>+61
+15</td><td>+87
+15</td><td>+4.5
0</td><td>+7
0</td><td>+10
0</td><td>+14
0</td><td>+20
0</td><td>+29
0</td><td>+46
0</td><td>+72
0</td><td>+115
0</td><td>+185
0</td><td>+290
0</td><td>+0.46
0</td><td>+0.72
0</td><td>+1.15
0</td><td>+1.85
0</td></tr>
<tr><td>250</td><td>315</td><td>+40
+17</td><td>+49
+17</td><td>+69
+17</td><td>+98
+17</td><td>+6
0</td><td>+8
0</td><td>+12
0</td><td>+16
0</td><td>+23
0</td><td>+32
0</td><td>+52
0</td><td>+81
0</td><td>+130
0</td><td>+210
0</td><td>+320
0</td><td>+0.52
0</td><td>+0.81
0</td><td>+1.3
0</td><td>+2.1
0</td></tr>
<tr><td>315</td><td>400</td><td>+43
+18</td><td>+54
+18</td><td>+75
+18</td><td>+107
+18</td><td>+7
0</td><td>+9
0</td><td>+13
0</td><td>+18
0</td><td>+25
0</td><td>+36
0</td><td>+57
0</td><td>+89
0</td><td>+140
0</td><td>+230
0</td><td>+360
0</td><td>+0.57
0</td><td>+0.89
0</td><td>+1.4
0</td><td>+2.3
0</td></tr>
<tr><td>400</td><td>500</td><td>+47
+20</td><td>+60
+20</td><td>+83
+20</td><td>+117
+20</td><td>+8
0</td><td>+10
0</td><td>+15
0</td><td>+20
0</td><td>+27
0</td><td>+40
0</td><td>+63
0</td><td>+97
0</td><td>+155
0</td><td>+250
0</td><td>+400
0</td><td>+0.63
0</td><td>+0.97
0</td><td>+1.55
0</td><td>+2.5
0</td></tr>
</table>

（续）

公称尺寸/mm		JS																J		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	6	7	8
大于	至	偏差																		
		μm											mm					μm		
—	3	±0.4	±0.6	±1	±1.5	±2	±3	±5	±7	±12	±20	±30	±0.05	±0.07	±0.125	±0.2	±0.3	+2 −4	+4 −6	+6 +8
3	6	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±2.5	±4	±6	±9	±15	±24	±37	±0.06	±0.09	±0.15	±0.24	±0.375	+5 −2	±6	+10 −8
6	10	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±7	±11	±18	±29	±46	±0.075	±0.11	±0.18	±0.29	±0.45	+5 −4	+8 −7	+12 −10
10	18	±0.6	±1	±1.5	±2.5	±4	±5.5	±9	±13	±21	±36	±55	±0.09	±0.135	±0.215	±0.35	±0.55	+6 −5	+10 −8	+15 −12
18	30	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±6.5	±10	±16	±26	±42	±65	±0.105	±0.165	±0.26	±0.42	±0.65	+8 −5	+12 −9	+20 −13
30	50	±0.75	±1.25	±2	±3.5	±5.5	±8	±12	±19	±31	±50	±80	±0.125	±0.195	±0.31	±0.5	±0.8	+10 −6	+14 −11	+24 −15
50	80	±1	±1.5	±2.5	±4	±6.5	±9.5	±15	±23	±37	±60	±95	±0.15	±0.23	±0.37	±0.6	±0.95	+13 −6	+18 −12	+28 −18
80	120	±1.25	±2	±3	±5	±7.5	±11	±17	±27	±43	±70	±110	±0.175	±0.27	±0.435	±0.7	±1.1	+16 −6	+22 −13	+34 −20
120	180	±1.75	±2.5	±4	±6	±9	±12.5	±20	±31	±50	±80	±125	±0.2	±0.315	±0.5	±0.8	±1.25	+18 −7	+26 −14	+41 −22
180	250	±2.25	±3.5	±5	±7	±10	±14.5	±23	±36	±57	±92	±145	±0.23	±0.36	±0.575	±0.925	±1.45	+22 −7	+30 −16	+47 −25
250	315	±3	±4	±6	±8	±11.5	±16	±26	±40	±65	±105	±160	±0.28	±0.405	±0.65	±1.05	±1.6	+25 −7	+36 −16	+55 −26
315	400	±3.5	±4.5	±6.5	±9	±12.5	±18	±28	±44	±70	±115	±180	±0.285	±0.445	±0.7	±1.15	±1.8	+29 −7	+39 −18	+60 −29
400	500	±4	±5	±7.5	±10	±13.5	±20	±31	±48	±77	±125	±200	±0.315	±0.485	±0.775	±1.25	±2	+33 −7	+43 −20	+66 −31

（续）

公称尺寸/mm		K				M				N							P				
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9
—	3	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-2 -16	-4 -8	-4 -10	-4 -14	-4 -18	-4 -29	-4 -44	-4 -64	-6 -10	-6 -12	-6 -16	-6 -20	-6 -31
3	6	0 -5	+2 -6	+3 -9	+5 -13	-3 -8	-1 -9	0 -12	+2 -16	-7 -12	-5 -13	-4 -16	-2 -20	0 -30	0 -48	0 -75	-11 -16	-9 -17	-8 -20	-12 -30	-12 -42
6	10	+1 -5	+2 -7	+5 -10	+6 -16	-4 -10	-3 -12	0 -15	+1 -21	-8 -14	-7 -16	-4 -19	-3 -25	0 -36	0 -58	0 -90	-13 -19	-12 -21	-9 -24	-15 -37	-15 -51
10	18	+2 -6	+2 -9	+6 -12	+8 -19	-4 -12	-4 -15	0 -18	+2 -25	-9 -17	-9 -20	-5 -23	-3 -30	0 -43	0 -70	0 -110	-15 -23	-15 -26	-11 -29	-18 -45	-18 -61
18	30	+1 -8	+2 -11	+6 -15	+10 -23	-5 -14	-4 -17	0 -21	+4 -29	-12 -21	-11 -24	-7 -28	-3 -36	0 -52	0 -84	0 -130	-19 -28	-18 -31	-14 -35	-22 -55	-22 -74
30	50	+2 -9	+3 -13	+7 -18	+12 -27	-5 -16	-4 -20	0 -25	+5 -34	-13 -24	-12 -28	-8 -33	-3 -42	0 -62	0 -100	0 -160	-22 -33	-21 -37	-17 -42	-26 -65	-26 -88
50	80	+3 -10	+4 -15	+9 -21	+14 -32	-6 -19	-5 -24	0 -30	+5 -41	-15 -28	-14 -33	-9 -39	-4 -50	0 -74	0 -120	0 -190	-27 -40	-26 -45	-21 -51	-32 -78	-32 -106
80	120	+2 -13	+4 -18	+10 -25	+16 -38	-8 -23	-6 -28	0 -35	+6 -48	-18 -33	-16 -38	-10 -45	-4 -58	0 -87	0 -140	0 -220	-32 -47	-30 -52	-24 -59	-37 -91	-37 -124
120	180	+3 -15	+4 -21	+12 -28	+20 -43	-9 -27	-8 -33	0 -40	+8 -55	-21 -39	-20 -45	-12 -52	-4 -67	0 -100	0 -160	0 -250	-37 -55	-36 -61	-28 -68	-43 -106	-43 -143
180	250	+2 -18	+5 -24	+13 -33	+22 -50	-11 -31	-8 -37	0 -46	+9 -63	-25 -45	-22 -51	-14 -60	-5 -77	0 -115	0 -185	0 -290	-44 -64	-41 -70	-33 -79	-50 -122	-50 -165
250	315	+3 -20	+5 -27	+16 -36	+25 -56	-13 -36	-9 -41	0 -52	+9 -72	-27 -50	-25 -57	-14 -66	-5 -86	0 -130	0 -210	0 -320	-49 -72	-47 -79	-36 -88	-56 -137	-56 -186
315	400	+3 -22	+7 -29	+17 -40	+28 -61	-14 -39	-10 -46	0 -57	+11 -78	-30 -55	-26 -62	-16 -73	-5 -94	0 -140	0 -230	0 -360	-55 -80	-51 -87	-41 -98	-62 -151	-62 -202
400	500	+2 -25	+8 -32	+18 -45	+29 -68	-16 -43	-10 -50	0 -63	+11 -86	-33 -60	-27 -67	-17 -80	-6 -103	0 -155	0 -250	0 -400	-61 -88	-55 -95	-45 -108	-68 -165	-68 -223

（续）

公称尺寸/mm		R				S					T			U	
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	6	7	8	6	7
—	3	-10 -14	-10 -16	-10 -20	-10 -24	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	-14 -39				-18 -24	-18 -28
3	6	-14 -19	-12 -20	-11 -23	-15 -33	-18 -23	-16 -24	-15 -27	-19 -37	-19 -49				-20 -28	-19 -31
6	10	-17 -23	-16 -25	-13 -28	-19 -41	-21 -27	-20 -29	-17 -32	-23 -45	-23 -59				-25 -34	-22 -37
10	18	-20 -28	-20 -31	-16 -34	-23 -50	-25 -33	-25 -36	-21 -39	-28 -55	-28 -71				-30 -41	-26 -44
18	24	-25 -34	-24 -37	-20 -41	-28 -61	-32 -41	-31 -44	-27 -48	-35 -68	-35 -87				-37 -50	-33 -54
24	30										-37 -50	-33 -54	-41 -74	-44 -57	-40 -61
30	40	-30 -41	-29 -45	-25 -50	-34 -73	-39 -50	-38 -54	-34 -59	-43 -82	-43 -105	-43 -59	-39 -64	-48 -87	-55 -71	-51 -76
40	50										-49 -65	-45 -70	-54 -93	-65 -81	-61 -86
50	65	-36 -49	-35 -54	-30 -60	-41 -87	-48 -61	-47 -66	-42 -72	-53 -99	-53 -127	-60 -79	-55 -85	-66 -112	-81 -100	-76 -106
65	80	-38 -51	-37 -56	-32 -62	-43 -89	-54 -67	-53 -72	-48 -78	-59 -105	-59 -133	-69 -88	-64 -94	-75 -121	-96 -115	-91 -121
80	100	-46 -61	-44 -66	-38 -73	-51 -105	-66 -81	-64 -86	-58 -93	-71 -125	-71 -158	-84 -106	-78 -113	-91 -145	-117 -139	-111 -146
100	120	-49 -64	-47 -69	-41 -76	-54 -108	-74 -89	-72 -94	-66 -101	-79 -133	-79 -166	-97 -119	-91 -126	-104 -158	-137 -159	-131 -166
120	140	-57 -75	-56 -81	-48 -88	-63 -126	-86 -104	-85 -110	-77 -117	-92 -155	-92 -192	-115 -140	-107 -147	-122 -185	-163 -188	-155 -195

（续）

公称尺寸/mm		R				S					T			U	
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	6	7	8	6	7
140	160	-59 -77	-58 -83	-50 -90	-65 -128	-94 -112	-93 -118	-85 -125	-100 -163	-100 -200	-127 -152	-119 -159	-134 -197	-183 -208	-175 -215
160	180	-62 -80	-61 -86	-53 -93	-68 -131	-102 -120	-101 -126	-93 -133	-108 -171	-108 -208	-139 -164	-131 -171	-146 -209	-203 -228	-195 -235
180	200	-71 -91	-68 -97	-60 -106	-77 -149	-116 -136	-113 -142	-105 -151	-122 -194	-122 -237	-157 -186	-149 -195	-166 -238	-227 -256	-219 -265
200	225	-74 -94	-71 -100	-63 -109	-80 -152	-124 -144	-121 -150	-113 -159	-130 -202	-130 -245	-171 -200	-163 -209	-180 -252	-249 -278	-241 -287
225	250	-78 -98	-75 -104	-67 -113	-84 -156	-134 -154	-131 -160	-123 -169	-140 -212	-140 -255	-187 -216	-179 -225	-196 -268	-275 -304	-267 -313
250	280	-87 -110	-85 -117	-74 -126	-94 -175	-151 -174	-149 -181	-138 -190	-158 -239	-158 -288	-209 -241	-198 -250	-218 -299	-306 -338	-295 -347
280	315	-91 -114	-89 -121	-78 -130	-98 -179	-163 -186	-161 -193	-150 -202	-170 -251	-170 -300	-231 -263	-220 -272	-240 -321	-341 -373	-320 -382
315	355	-101 -126	-97 -133	-87 -144	-108 -197	-183 -208	-179 -215	-169 -226	-190 -279	-190 -330	-257 -293	-247 -304	-268 -357	-379 -415	-369 -426
355	400	-107 -132	-103 -139	-93 -150	-114 -203	-201 -226	-197 -233	-187 -244	-208 -297	-208 -348	-383 -319	-273 -330	-294 -383	-424 -460	-414 -471
400	450	-119 -146	-113 -153	-103 -166	-126 -223	-225 -252	-219 -259	-209 -272	-232 -329	-232 -387	-317 -357	-307 -370	-330 -427	-477 -517	-467 -530
450	500	-125 -152	-119 -159	-109 -172	-132 -229	-245 -272	-239 -279	-229 -292	-252 -349	-252 -407	-347 -387	-337 -400	-360 -457	-527 -567	-517 -580

（续）

公称尺寸/mm		U			V			X					Y		
大于	至	8	9	10	6	7	8	6	7	8	9	10	6	7	8
—	3	-18 -32	-18 -43	-18 -58				-20 -26	-20 -30	-20 -34	-20 -45	-20 -60			
3	6	-23 -41	-23 -53	-23 -71				-25 -33	-24 -36	-28 -46	-28 -58	-28 -76			
6	10	-28 -50	-28 -64	-28 -86				-31 -40	-28 -43	-34 -56	-34 -70	-34 -92			
10	14	-33 -60	-33 -76	-33 -103				-37 -48	-33 -51	-40 -67	-40 -83	-40 -110			
14	18				-36 -47	-32 -50	-39 -66	-42 -53	-38 -56	-45 -72	-45 -88	-45 -115			
18	24	-41 -74	-41 -93	-41 -125	-43 -56	-39 -60	-47 -80	-50 -63	-46 -67	-54 -87	-54 -106	-54 -138	-59 -72	-55 -76	-63 -96
24	30	-48 -81	-48 -100	-48 -132	-51 -64	-47 -68	-55 -88	-60 -73	-56 -77	-64 -97	-64 -116	-64 -148	-71 -84	-67 -88	-75 -108
30	40	-60 -99	-60 -122	-60 -160	-63 -79	-59 -84	-68 -107	-75 -91	-71 -96	-80 -119	-89 -142	-80 -180	-89 -105	-85 -110	-94 -133
40	50	-70 -109	-70 -132	-70 -170	-76 -92	-72 -97	-81 -120	-92 -108	-88 -113	-97 -136	-97 -159	-97 -197	-109 -125	-105 -130	-114 -153
50	65	-87 -133	-87 -161	-87 -207	-96 -115	-91 -121	-102 -148	-116 -135	-111 -141	-122 -168	-122 -196		-138 -157	-133 -163	-144 -190
65	80	-102 -148	-102 -176	-102 -222	-114 -133	-109 -139	-120 -166	-140 -159	-135 -165	-146 -192	-146 -220		-168 -187	-163 -193	-174 -220
80	100	-124 -178	-124 -211	-124 -264	-139 -161	-133 -168	-146 -200	-171 -193	-165 -200	-178 -232	-178 -265		-207 -229	-201 -236	-214 -268
100	120	-144 -198	-144 -231	-144 -284	-165 -187	-159 -194	-172 -226	-203 -225	-197 -232	-210 -264	-210 -297		-247 -269	-241 -276	-254 -308

（续）

公称尺寸/mm		U			V			X					Y		
大于	至	8	9	10	6	7	8	6	7	8	9	10	6	7	8
120	140	−170 −233	−170 −270	−170 −330	−195 −220	−187 −227	−202 −265	−241 −266	−233 −273	−248 −311	−248 −348		−293 −318	−285 −325	−300 −363
140	160	−190 −253	−190 −290	−190 −350	−221 −246	−213 −253	−228 −291	−273 −298	−265 −305	−280 −343	−280 −380		−333 −358	−325 −365	−340 −403
160	180	−210 −273	−210 −310	−210 −370	−245 −270	−237 −277	−252 −315	−303 −328	−295 −335	−310 −373	−310 −410		−373 −398	−365 −405	−380 −443
180	200	−236 −308	−236 −351	−236 −421	−275 −304	−267 −313	−284 −356	−341 −370	−333 −379	−350 −422	−350 −465		−416 −445	−408 −454	−425 −497
200	225	−258 −330	−258 −373	−258 −443	−301 −330	−293 −339	−310 −382	−376 −405	−368 −414	−385 −457	−385 −500		−461 −490	−453 −499	−470 −542
225	250	−284 −356	−284 −399	−284 −469	−331 −360	−323 −369	−340 −412	−416 −445	−408 −454	−425 −497	−425 −540		−511 −540	−503 −549	−520 −592
250	280	−315 −396	−315 −445	−315 −525	−376 −408	−365 −417	−385 −466	−466 −498	−455 −507	−475 −556	−475 −605		−571 −603	−560 −612	−580 −661
280	315	−350 −431	−350 −480	−350 −560	−416 −448	−405 −457	−425 −506	−516 −548	−505 −557	−525 −606	−525 −655		−641 −673	−630 −682	−650 −731
315	355	−390 −479	−390 −530	−390 −620	−464 −500	−454 −511	−475 −564	−579 −615	−569 −626	−590 −679	−590 −730		−719 −755	−709 −766	−730 −819
355	400	−435 −524	−435 −575	−435 −665	−519 −555	−509 −566	−530 −619	−649 −685	−639 −696	−660 −749	−660 −800		−809 −845	−799 −856	−820 −909
400	450	−490 −587	−490 −645	−490 −740	−582 −622	−572 −635	−595 −692	−727 −767	−717 −780	−740 −837	−740 −895		−907 −947	−897 −960	−920 −1017
450	500	−540 −637	−540 −695	−540 −790	−647 −687	−637 −700	−660 −757	−807 −847	−797 −860	−820 −917	−820 −975		−987 −1027	−977 −1040	−1000 −1097

（续）

公称尺寸/mm		Z						ZA			ZB			ZC		
大于	至	6	7	8	9	10	11	7	8	9	8	9	10	8	9	10
—	3	-26 -32	-26 -36	-26 -40	-26 -51	-26 -66	-26 -86	-32 -42	-32 -46	-32 -57	-40 -54	-40 -65	-40 -80	-60 -74	-60 -85	-60 -100
3	6	-32 -40	-31 -43	-35 -53	-35 -65	-35 -83	-35 -110	-38 -50	-42 -60	-42 -72	-50 -68	-50 -80	-50 -98	-80 -98	-80 -110	-80 -128
6	10	-39 -48	-36 -51	-42 -64	-42 -78	-42 -100	-42 -132	-46 -61	-52 -74	-52 -88	-67 -89	-67 -103	-67 -125	-97 -119	-97 -133	-97 -155
10	14	-47 -58	43 -61	-50 -77	-50 -93	-50 -120	-50 -160	-57 -75	-64 -91	-64 -107	-90 -117	-90 -133	-90 -160	-130 -157	-130 -173	-130 -200
14	18	-57 -68	-53 -71	-60 -87	-60 -103	-60 -130	-60 -170	-70 -88	-77 -104	-77 -120	-108 -135	-108 -151	-108 -178	-150 -177	-150 -193	-150 -220
18	24	-69 -82	-65 -86	-73 -106	-73 -125	-73 -157	-73 -203	-90 -111	-98 -131	-98 -150	-136 -169	-136 -188	-136 -220	-188 -221	-188 -240	-188 -272
24	30	-84 -97	-80 -101	-88 -121	-88 -140	-88 -172	-88 -218	-110 -131	-118 -151	-118 -170	-160 -193	-160 -212	-160 -244	-218 -251	-218 -270	-218 -302
30	40	-107 -123	-103 -128	-112 -151	-112 -174	-112 -212	-112 -272	-139 -164	-148 -187	-148 -210	-200 -239	-200 -262	-200 -300	-274 -313	-274 -336	-274 -374
40	50	-131 -147	-127 -152	-136 -175	-136 -198	-136 -236	-136 -296	-171 -196	-180 -219	-180 -242	-242 -281	-242 -304	-242 -342	-325 -364	-325 -387	-325 -425
50	65		-161 -191	-172 -218	-172 -246	-172 -292	-172 -362	-215 -245	-226 -272	-226 -300	-300 -346	-300 -374	-300 -420	-405 -451	-405 -479	-405 -525
65	80		-199 -229	-210 -256	-210 -284	-210 -330	-210 -400	-263 -293	-274 -320	-274 -348	-360 -406	-360 -434	-360 -480	-480 -526	-480 -554	-480 -600
80	100		-245 -280	-258 -312	-258 -345	-258 -398	-258 -478	-322 -357	-335 -389	-335 -422	-445 -499	-445 -532	-445 -585	-585 -639	-585 -672	-585 -725
100	120		-297 -332	-310 -364	-310 -397	-310 -450	-310 -530	-387 -422	-400 -454	-400 -487	-525 -579	-525 -612	-525 -665	-690 -744	-690 -777	-690 -830
120	140		-350 -390	-365 -428	-365 -465	-365 -525	-365 -615	-455 -495	-470 -533	-470 -570	-620 -683	-620 -720	-620 -780	-800 -863	-800 -900	-800 -960
140	160		-400 -440	-415 -478	-415 -515	-415 -575	-415 -665	-520 -560	-535 -598	-535 -635	-700 -763	-700 -800	-700 -860	-900 -963	-900 -1000	-900 -1060

（续）

公称尺寸/mm		Z						ZA			ZB			ZC		
大于	至	6	7	8	9	10	11	7	8	9	8	9	10	8	9	10
160	180		-450 -490	-465 -528	-465 -565	-465 -625	-465 -715	-585 -625	-600 -663	-600 -700	-780 -843	-780 -880	-780 -940	-1000 -1063	-1000 -1100	-1000 -1160
180	200		-503 -549	-520 -592	-520 -635	-520 -705	-520 -810	-653 -699	-670 -742	-670 -785	-880 -952	-880 -995	-880 -1065	-1150 -1222	-1150 -1265	-1150 -1335
200	225		-558 -604	-575 -647	-575 -690	-575 -760	-575 -865	-723 -769	-740 -812	-740 -855	-960 -1032	-960 -1075	-960 -1145	-1250 -1322	-1250 -1365	-1250 -1435
225	250		-623 -669	-640 -712	-640 -755	-640 -825	-640 -930	-803 -849	-820 -892	-820 -935	-1050 -1122	-1050 -1165	-1050 -1235	-1350 -1422	-1350 -1465	-1350 -1535
250	280		-690 -742	-710 -791	-710 -840	-710 -920	-710 -1030	-900 -952	-920 -1001	-920 -1050	-1200 -1281	-1200 -1330	-1200 -1410	-1550 -1631	-1550 -1680	-1550 -1760
280	315		-770 -822	-790 -871	-790 -920	-790 -1000	-790 -1100	-980 -1032	-1000 -1081	-1000 -1130	-1300 -1381	-1300 -1430	-1300 -1510	-1700 -1781	-1700 -1830	-1700 -1910
315	355		-879 -936	-900 -989	-900 -1040	-900 -1130	-900 -1260	-1129 -1186	-1150 -1239	-1150 -1290	-1500 -1589	-1500 -1640	-1500 -1730	-1900 -1989	-1900 -2040	-1900 -2130
355	400		-979 -1036	-1000 -1089	-1000 -1140	-1000 -1230	-1000 -1360	-1279 -1336	-1300 -1389	-1300 -1440	-1650 -1739	-1650 -1790	-1650 -1880	-2100 -2189	-2100 -2240	-2100 -2330
400	450		-1077 -1140	-1100 -1197	-1100 -1255	-1100 -1350	-1100 -1500	-1427 -1490	-1450 -1547	-1450 -1605	-1850 -1947	-1850 -2005	-1850 -2100	-2400 -2497	-2400 -2555	-2400 -2650
450	500		-1227 -1290	-1250 -1347	-1250 -1405	-1250 -1500	-1250 -1650	-1577 -1610	-1600 -1697	-1600 -1755	-2100 -2197	-2100 -2255	-2100 -2350	-2600 -2697	-2600 -2755	-2600 -2850

注：1. 公称尺寸小于1mm时，各级的A和B均不采用。
2. IT14至IT18的H偏差只用于大于1mm的公称尺寸。
3. 为避免相同值的重复，JS表列值以“$\pm X$”给出，可为ES = $+X$、EI = $-X$，如$^{+0.23}_{-0.23}$mm。
4. IT14至IT18的JS偏差只用于大于1mm的公称尺寸。
5. J9、J10等公差带对称于零线，其偏差值可见JS9、JS10等。
6. 公称尺寸大于3mm至6mm的J7的偏差值与对应尺寸段的JS7等值。
7. 公称尺寸大于3mm时，大于IT8的K偏差值不作规定。
8. 公差带N9、N10和N11只用于大于1mm的公称尺寸。
9. 公称尺寸至24mm的T6至T8的偏差值未列入表内，建议以U6至U8代替。如非要T6至T8，则可按GB/T 1800.1—2009计算。
10. 公称尺寸至14mm的V6至V8的偏差值未列入表内，建议以X6至X8代替。如非要V6至V8，则可按GB/T 1800.1—2009计算。
11. 公称尺寸至18mm的Y6至Y8的偏差值未列入表内，建议以Z6至Z8代替。如非要Y6至Y8，则可按GB/T 1800.1—2009计算。

表 6-5 公称尺寸≤500mm 轴的极限偏差(GB/T 1800.2—2009) (单位:μm)

公称尺寸/mm		a				b					c			
大于	至	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11
—	3	-270 -295	-270 -310	-270 -330	-270 -370	-140 -154	-140 -165	-140 -180	-140 -200	-140 -240	-60 -74	-60 -85	-60 -100	-60 -120
3	6	-270 -300	-270 -318	-270 -345	-270 -390	-140 -158	-140 -170	-140 -188	-140 -215	-140 -260	-70 -88	-70 -100	-70 -118	-70 -145
6	10	-280 -316	-280 -338	-280 -370	-280 -430	-150 -172	-150 -186	-150 -208	-150 -240	-150 -300	-80 -102	-80 -116	-80 -138	-80 -170
10	18	-290 -333	-290 -360	-290 -400	-290 -470	-150 -177	-150 -193	-150 -220	-150 -260	-150 -330	-95 -122	-95 -138	-95 -165	-95 -205
18	30	-300 -352	-300 -384	-300 -430	-300 -510	-160 -193	-160 -212	-160 -244	-160 -290	-160 -370	-110 -143	-110 -162	-110 -194	-110 -240
30	40	-310 -372	-310 -410	-310 -470	-310 -560	-170 -209	-170 -232	-170 -270	-170 -330	-170 -420	-120 -159	-120 -182	-120 -220	-120 -280
40	50	-320 -382	-320 -420	-320 -480	-320 -570	-180 -219	-180 -242	-180 -280	-180 -340	-180 -430	-130 -169	-130 -192	-130 -230	-130 -290
50	65	-340 -414	-340 -460	-340 -530	-340 -640	-190 -236	-190 -264	-190 -310	-190 -380	-190 -490	-140 -186	-140 -214	-140 -260	-140 -330
65	80	-360 -434	-360 -480	-360 -550	-360 -660	-200 -246	-200 -274	-200 -320	-200 -390	-200 -500	-150 -196	-150 -224	-150 -270	-150 -340
80	100	-380 -467	-380 -520	-380 -600	-380 -730	-220 -274	-220 -307	-220 -360	-220 -440	-220 -570	-170 -224	-170 -257	-170 -310	-170 -390
100	120	-410 -497	-410 -550	-410 -630	-410 -760	-240 -294	-240 -327	-240 -380	-240 -460	-240 -590	-180 -234	-180 -267	-180 -320	-180 -400
120	140	-460 -560	-460 -620	-460 -710	-460 -860	-260 -323	-260 -360	-260 -420	-260 -510	-260 -660	-200 -263	-200 -300	-200 -360	-200 -450

（续）

公称尺寸/mm		a				b					c			
大于	至	9	10	11	12	8	9	10	11	12	8	9	10	11
140	160	-520 -620	-520 -680	-520 -770	-520 -920	-280 -343	-280 -380	-280 -440	-280 -530	-280 -680	-210 -273	-210 -310	-210 -370	-210 -460
160	180	-580 -680	-580 -740	-580 -830	-580 -980	-310 -373	-310 -410	-310 -470	-310 -560	-310 -710	-230 -293	-230 -330	-230 -390	-230 -480
180	200	-660 -775	-660 -845	-660 -950	-660 -1 120	-340 -412	-340 -455	-340 -525	-340 -630	-340 -800	-240 -312	-240 -355	-240 -425	-240 -530
200	225	-740 -855	-740 -925	-740 -1 030	-740 -1 200	-380 -452	-380 -495	-380 -565	-380 -670	-380 -840	-260 -332	-260 -375	-260 -445	-260 -550
225	250	-820 -935	-820 -1 005	-820 -1 110	-820 -1 280	-420 -492	-420 -535	-420 -605	-420 -710	-420 -880	-280 -352	-280 -395	-280 -465	-280 -570
250	280	-920 -1 050	-920 -1 130	-920 -1 240	-920 -1 440	-480 -561	-480 -610	-480 -690	-480 -800	-480 -1 000	-300 -381	-300 -430	-300 -510	-300 -620
280	315	-1 050 -1 180	-1 050 -1 260	-1 050 -1 370	-1 050 -1 570	-540 -621	-540 -670	-540 -750	-540 -860	-540 -1 060	-330 -411	-330 -460	-330 -540	-330 -650
315	355	-1 200 -1 340	-1 200 -1 430	-1 200 -1 560	-1 200 -1 770	-600 -689	-600 -740	-600 -830	-600 -960	-600 -1 170	-360 -449	-360 -500	-360 -590	-360 -720
355	400	-1 350 -1 490	-1 350 -1 580	-1 350 -1 710	-1 350 -1 920	-680 -769	-680 -820	-680 -910	-680 -1 040	-680 -1 250	-400 -489	-400 -540	-400 -630	-400 -760
400	450	-1 500 -1 655	-1 500 -1 750	-1 500 -1 900	-1 500 -2 130	-760 -857	-760 -915	-760 -1 010	-760 -1 160	-760 -1 390	-440 -537	-440 -595	-440 -690	-440 -840
450	500	-1 650 -1 805	-1 650 -1 900	-1 650 -2 050	-1 650 -2 280	-840 -937	-840 -995	-840 -1 090	-840 -1 240	-840 -1 470	-480 -577	-480 -635	-480 -730	-480 -880

（续）

公称尺寸/mm		d									e						f				
大于	至	5	6	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9
—	3	−20 −24	−20 −26	−20 −30	−20 −34	−20 −45	−20 −60	−20 −80	−20 −120	−20 −160	−14 −18	−14 −20	−14 −24	−14 −28	−14 −39	−14 −54	−6 −10	−6 −12	−6 −16	−6 −20	−6 −31
3	6	−30 −35	−30 −38	−30 −42	−30 −48	−30 −60	−30 −78	−30 −105	−30 −150	−30 −210	−20 −25	−20 −28	−20 −32	−20 −38	−20 −50	−20 −68	−10 −15	−10 −18	−10 −22	−10 −28	−10 −40
6	10	−40 −46	−40 −49	−40 −55	−40 −62	−40 −76	−40 −98	−40 −130	−40 −190	−40 −260	−25 −31	−25 −34	−25 −40	−25 −47	−25 −61	−25 −83	−13 −19	−13 −22	−13 −28	−13 −35	−13 −49
10	18	−50 −58	−50 −61	−50 −68	−50 −77	−50 −93	−50 −120	−50 −160	−50 −230	−50 −320	−32 −43	−32 −43	−32 −50	−32 −59	−32 −75	−32 −102	−16 −24	−16 −27	−16 −34	−16 −43	−16 −59
18	30	−65 −74	−65 −78	−65 −86	−65 −98	−65 −117	−65 −149	−65 −195	−65 −275	−65 −395	−40 −49	−40 −53	−40 −61	−40 −73	−40 −92	−40 −124	−20 −29	−20 −33	−20 −41	−20 −53	−20 −72
30	50	−80 −91	−80 −96	−80 −105	−80 −119	−80 −142	−80 −180	−80 −240	−80 −330	−80 −470	−50 −61	−50 −66	−50 −75	−50 −89	−50 −112	−50 −150	−25 −36	−25 −41	−25 −50	−25 −64	−25 −87
50	80	−100 −113	−100 −119	−100 −130	−100 −146	−100 −174	−100 −220	−100 −290	−100 −400	−100 −560	−60 −73	−60 −79	−60 −90	−60 −106	−60 −134	−60 −180	−30 −43	−30 −49	−30 −60	−30 −76	−30 −104
80	120	−120 −135	−120 −142	−120 −155	−120 −174	−120 −207	−120 −260	−120 −340	−120 −470	−120 −660	−72 −87	−72 −94	−72 −107	−72 −126	−72 −212	−72 −159	−36 −51	−36 −58	−36 −71	−36 −90	−36 −123
120	180	−145 −163	−145 −170	−145 −185	−145 −208	−145 −245	−145 −305	−145 −395	−145 −545	−145 −775	−85 −103	−85 −110	−85 −125	−85 −148	−85 −185	−85 −245	−43 −61	−43 −68	−43 −83	−43 −106	−43 −143
180	250	−170 −190	−170 −199	−170 −216	−170 −242	−170 −285	−170 −355	−170 −460	−170 −630	−170 −890	−100 −120	−100 −129	−100 −146	−100 −172	−100 −215	−100 −285	−50 −70	−50 −79	−50 −96	−50 −122	−50 −165
250	315	−190 −213	−190 −222	−190 −242	−190 −271	−190 −320	−190 −400	−190 −510	−190 −710	−190 −1000	−110 −133	−110 −142	−110 −162	−110 −191	−110 −240	−110 −320	−56 −79	−56 −88	−56 −108	−56 −137	−56 −185
315	400	−210 −235	−210 −246	−210 −267	−210 −299	−210 −350	−210 −440	−210 −570	−210 −780	−210 −1100	−125 −150	−125 −161	−125 −182	−125 −214	−125 −265	−125 −355	−62 −87	−62 −98	−62 −119	−62 −151	−62 −202
400	500	−230 −257	−230 −270	−230 −293	−230 −327	−230 −385	−230 −480	−230 −630	−230 −860	−230 −1200	−135 −162	−135 −175	−135 −198	−135 −232	−135 −290	−135 −385	−68 −95	−68 −108	−68 −131	−68 −165	−68 −223

（续）

公称尺寸/mm		g				h														
		5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
大于	至	偏差																		
		μm															mm			
—	3	−2	−2	−2	−2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−6	−8	−12	−16	−0.8	−1.2	−2	−3	−4	−6	−10	−14	−25	−40	−60	−0.1	−0.14	−0.25	−0.4
3	6	−4	−4	−4	−4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−9	−12	−16	−22	−1	−1.5	−2.5	−4	−5	−8	−12	−18	−30	−48	−75	−0.12	−0.18	−0.3	−0.48
6	10	−5	−5	−5	−5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−11	−14	−20	−27	−1	−1.5	−2.5	−4	−6	−9	−15	−22	−36	−58	−90	−0.15	−0.22	−0.36	−0.58
10	18	−6	−6	−6	−6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−14	−17	−24	−33	−1.2	−2	−3	−5	−8	−11	−18	−27	−43	−70	−110	−0.18	−0.27	−0.43	−0.7
18	30	−7	−7	−7	−7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−16	−20	−28	−40	−1.5	−2.5	−4	−6	−9	−13	−21	−33	−52	−84	−130	−0.21	−0.33	−0.52	−0.84
30	50	−9	−9	−9	−9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−20	−25	−34	−48	−1.5	−2.5	−4	−7	−11	−16	−25	−39	−62	−100	−160	−0.25	−0.39	−0.62	−1
50	80	−10	−10	−10	−10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−23	−29	−40	−56	−2	−3	−5	−8	−13	−19	−30	−46	−74	−120	−190	−0.3	−0.46	−0.74	−1.2
80	120	−12	−12	−12	−12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−27	−34	−47	−66	−2.5	−4	−6	−10	−15	−22	−35	−54	−87	−140	−220	−0.35	−0.54	−0.87	−1.4
120	180	−14	−14	−14	−14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−32	−39	−54	−77	−3.5	−5	−8	−12	−18	−25	−40	−63	−100	−160	−250	−0.4	−0.63	−1	−1.6
180	250	−15	−15	−15	−15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−35	−44	−61	−87	−4.5	−7	−10	−14	−20	−29	−46	−72	−115	−185	−290	−0.46	−0.72	−1.15	−1.85
250	315	−17	−17	−17	−17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−40	−49	−69	−98	−6	−8	−12	−16	−23	−32	−52	−81	−130	−210	−320	−0.52	−0.81	−1.3	−2.1
315	400	−18	−18	−18	−18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−43	−54	−75	−107	−7	−9	−13	−18	−25	−36	−57	−89	−140	−230	−360	−0.57	−0.89	−1.4	−2.3
400	500	−20	−20	−20	−20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−47	−60	−83	−117	−8	−10	−15	−20	−27	−40	−63	−97	−155	−250	−400	−0.63	−0.97	−1.55	−2.5

（续）

公称尺寸/mm		js																j		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	5	6	7
大于	至	偏差																		
		μm											mm					μm		
—	3	±0.4	±0.6	±1	±1.5	±2	±3	±5	±7	±12	±20	±30	±0.05	±0.07	±0.125	±0.2	±0.3	±2	+4 −2	+6 −4
3	6	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±2.5	±4	±6	±9	±15	±24	±37	±0.06	±0.09	±0.15	±0.24	±0.375	+3 −2	+6 −2	+8 −4
6	10	±0.5	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±7	±11	±18	±29	±45	±0.075	±0.11	±0.18	±0.29	±0.45	+4 −2	+7 −2	+10 −5
10	18	±0.6	±1	±1.5	±2.5	±4	±5.5	±9	±13	±21	±35	±55	±0.09	±0.135	±0.215	±0.35	±0.55	+5 −3	+8 −3	+12 −6
18	30	±0.75	±1.25	±2	±3	±4.5	±6.5	±10	±16	±26	±42	±65	±0.105	±0.165	±0.26	±0.42	±0.65	+5 −4	+9 −4	+13 −8
30	50	±0.75	±1.25	±2	±3.5	±5.5	±8	±12	±19	±31	±50	±80	±0.125	±0.195	±0.31	±0.5	±0.8	+6 −5	+11 −5	+15 −10
50	80	±1	±1.5	±2.5	±4	±6.5	±9.5	±15	±23	±37	±60	±95	±0.15	±0.23	±0.37	±0.6	±0.95	+6 −7	+12 −7	+18 −12
80	120	±1.25	±2	±3	±5	±7.5	±11	±17	±27	±43	±70	±110	±0.175	±0.27	±0.435	±0.7	±1.1	+6 −9	+13 −9	+20 −15
120	180	±1.75	±2.5	±4	±6	±9	±12.5	±20	±31	±50	±80	±125	±0.2	±0.315	±0.5	±0.8	±1.25	+7 −11	+14 −11	+22 −18
180	250	±2.25	±3.5	±5	±7	±10	±14.5	±23	±36	±57	±92	±145	±0.23	±0.36	±0.575	±0.925	±1.45	+7 −13	+16 −13	+25 −21
250	315	±3	±4	±6	±8	±11.5	±16	±26	±40	±65	±105	±160	±0.26	±0.405	±0.65	±1.05	±1.6	+7 −16	±16	±26
315	400	±3.5	±4.5	±6.5	±9	±12.5	±18	±28	±44	±70	±115	±180	±0.285	±0.445	±0.7	±1.15	±1.8	+7 −18	±18	+29 −28
400	500	±4	±5	±7.5	±10	±13.5	±20	±31	±48	±77	±125	±200	±0.315	±0.485	±0.775	±1.25	±2	+7 −20	±20	+31 −32

（续）

公称尺寸 /mm		k					m					n					p				
大于	至	5	6	7	8	9	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	5	6	7	8	9
—	3	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+5 +2	+6 +2	+8 +2	+12 +2	+16 +2	+7 +4	+8 +4	+10 +4	+14 +4	+18 +4	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6
3	6	+6 +1	+9 +1	+13 +1	+18 0	+30 0	+8 +4	+9 +4	+12 +4	+16 +4	+22 +4	+12 +8	+13 +8	+16 +8	+20 +8	+26 +8	+17 +12	+20 +12	+24 +12	+30 +12	+42 +12
6	10	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+22 0	+36 0	+10 +6	+12 +6	+15 +6	+21 +6	+28 +6	+14 +10	+16 +10	+19 +10	+25 +10	+32 +10	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+37 +15	+51 +15
10	18	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+27 0	+43 0	+12 +7	+15 +7	+18 +7	+25 +7	+34 +7	+17 +12	+20 +12	+23 +12	+30 +12	+39 +12	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+45 +18	+61 +18
18	30	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+33 0	+52 0	+14 +8	+17 +8	+21 +8	+29 +8	+41 +8	+21 +15	+24 +15	+28 +15	+36 +15	+48 +15	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+55 +22	+74 +22
30	50	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+39 0	+62 0	+16 +9	+20 +9	+25 +9	+34 +9	+48 +9	+24 +17	+28 +17	+33 +17	+42 +17	+56 +17	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+65 +26	+88 +26
50	80	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+46 0	+74 0	+19 +11	+24 +11	+30 +11	+41 +11		+28 +20	+33 +20	+39 +20	+50 +20		+45 +32	+51 +32	+62 +32	+78 +32	
80	120	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+54 0	+87 0	+23 +13	+28 +13	+35 +13	+48 +13		+33 +23	+38 +23	+45 +23	+58 +23		+52 +37	+59 +37	+72 +37	+91 +37	
120	180	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+63 0	+100 0	+27 +15	+33 +15	+40 +15	+55 +15		+39 +27	+45 +27	+52 +27	+67 +27		+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43	
180	250	+24 +4	+33 +4	+50 +4	+72 0	+115 0	+31 +17	+37 +17	+46 +17	+63 +17		+45 +31	+51 +31	+60 +31	+77 +31		+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50	
250	315	+27 +4	+36 +4	+56 +4	+81 0	+130 0	+36 +20	+43 +20	+52 +20	+72 +20		+50 +34	+57 +34	+66 +34	+86 +34		+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56	
315	400	+29 +4	+40 +4	+61 +4	+89 0	+140 0	+39 +21	+46 +21	+57 +21	+78 +21		+55 +37	+62 +37	+73 +37	+94 +37		+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62	
400	500	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+97 0	+155 0	+43 +23	+50 +23	+63 +23	+86 +23		+60 +40	+67 +40	+80 +40	+103 +40		+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68	

（续）

公称尺寸/mm		r				s					t			u	
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	6	7	8	5	6
—	3	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14				+22 +18	+24 +18
3	6	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+33 +15	+24 +19	+27 +19	+31 +19	+37 +19	+49 +19				+28 +23	+31 +23
6	10	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+41 +19	+29 +23	+32 +23	+38 +23	+45 +23	+59 +23				+34 +28	+37 +28
10	18	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+50 +23	+36 +28	+39 +28	+46 +28	+55 +28	+71 +28				+41 +33	+44 +33
18	24	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+61 +28	+44 +35	+48 +35	+56 +35	+68 +35	+87 +35				+50 +41	+54 +41
24	30										+54 +41	+62 +41	+74 +41	+57 +48	+61 +48
30	40	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+73 +34	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+82 +43	+105 +43	+64 +48	+73 +48	+87 +48	+71 +60	+76 +60
40	50										+70 +54	+79 +54	+93 +54	+81 +70	+86 +70
50	65	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+87 +41	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+99 +53	+127 +53	+85 +66	+96 +66	+112 +66	+100 +87	+106 +87
65	80	+56 +43	+62 +43	+72 +43	+89 +43	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+105 +59	+133 +59	+94 +75	+105 +75	+121 +75	+115 +102	+121 +102
80	100	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+105 +51	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+125 +71	+158 +71	+113 +91	+126 +91	+145 +91	+139 +124	+146 +124
100	120	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+108 +54	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+133 +79	+166 +79	+126 +104	+139 +104	+158 +104	+159 +144	+166 +144
120	140	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+126 +63	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+155 +92	+192 +92	+147 +122	+162 +122	+185 +122	+188 +170	+195 +170

（续）

公称尺寸/mm		r				s					t			u	
大于	至	5	6	7	8	5	6	7	8	9	6	7	8	5	6
140	160	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+128 +65	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+163 +100	+200 +100	+159 +134	+174 +134	+197 +134	+208 +190	+215 +190
160	180	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+131 +68	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+171 +108	+208 +108	+171 +146	+186 +146	+209 +146	+228 +210	+235 +210
180	200	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+149 +77	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+194 +122	+237 +122	+195 +166	+212 +166	+238 +166	+256 +236	+265 +236
200	225	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+152 +80	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+202 +130	+245 +130	+209 +180	+226 +180	+252 +180	+278 +258	+287 +258
225	250	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+156 +84	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+212 +140	+255 +140	+225 +196	+242 +196	+268 +196	+304 +284	+313 +284
250	280	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+175 +94	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+239 +158	+288 +158	+250 +218	+270 +218	+299 +218	+338 +315	+347 +315
280	315	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+179 +98	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+251 +170	+300 +170	+272 +240	+292 +240	+321 +240	+373 +350	+382 +350
315	355	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+197 +108	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+279 +190	+330 +190	+304 +268	+325 +268	+357 +268	+415 +390	+426 +390
355	400	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+203 +114	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+297 +208	+348 +208	+330 +294	+351 +294	+383 +294	+460 +435	+471 +435
400	450	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+223 +126	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+329 +232	+387 +232	+370 +330	+393 +330	+427 +330	+517 +490	+530 +490
450	500	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+229 +132	+279 +252	+292 +252	+315 +252	+349 +252	+407 +252	+400 +360	+423 +360	+457 +360	+567 +540	+580 +540

（续）

公称尺寸/mm		u			v			x					y		
大于	至	7	8	9	6	7	8	6	7	8	9	10	6	7	8
—	3	+28 +18	+32 +18	+43 +18				+26 +20	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20			
3	6	+35 +23	+41 +23	+53 +23				+36 +28	+40 +28	+46 +28	+58 +28	+76 +28			
6	10	+43 +28	+50 +28	+64 +28				+43 +34	+49 +34	+56 +34	+70 +34	+92 +34			
10	14	+51 +33	+60 +33	+76 +33				+51 +40	+58 +40	+67 +40	+83 +40	+110 +40			
14	18				+50 +39	+57 +39	+66 +39	+56 +45	+63 +45	+72 +45	+88 +45	+115 +45			
18	24	+62 +41	+74 +41	+93 +41	+60 +47	+68 +47	+80 +47	+67 +54	+75 +54	+87 +54	+106 +54	+138 +54	+76 +63	+84 +63	+96 +63
24	30	+69 +48	+81 +48	+100 +48	+68 +55	+76 +55	+88 +55	+77 +64	+85 +64	+97 +64	+116 +64	+148 +64	+88 +75	+96 +75	+108 +75
30	40	+85 +60	+99 +60	+122 +60	+84 +68	+93 +68	+107 +68	+96 +80	+105 +80	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+110 +94	+119 +94	+133 +94
40	50	+95 +70	+109 +70	+132 +70	+97 +81	+106 +81	+120 +81	+113 +97	+122 +97	+136 +97	+159 +97	+197 +97	+130 +114	+139 +114	+153 +114
50	65	+117 +87	+133 +87	+161 +87	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+141 +122	+152 +122	+168 +122	+196 +122	+242 +122	+163 +144	+174 +144	+190 +144
65	80	+132 +102	+148 +102	+176 +102	+139 +120	+150 +120	+166 +120	+165 +146	+176 +146	+192 +146	+220 +146	+266 +146	+193 +174	+204 +174	+220 +174
80	100	+159 +124	+178 +124	+211 +124	+168 +146	+181 +146	+200 +146	+200 +178	+213 +178	+232 +178	+265 +178	+318 +178	+236 +214	+249 +214	+268 +214
100	120	+179 +144	+198 +144	+231 +144	+194 +172	+207 +172	+226 +172	+232 +210	+245 +210	+264 +210	+297 +210	+350 +210	+276 +254	+289 +254	+308 +254

（续）

公称尺寸/mm		u			v			x					y		
大于	至	7	8	9	6	7	8	6	7	8	9	10	6	7	8
120	140	+210 +170	+233 +170	+270 +170	+227 +202	+242 +202	+265 +202	+273 +248	+288 +248	+311 +248	+348 +248	+408 +248	+325 +300	+340 +300	+363 +300
140	160	+230 +190	+253 +190	+290 +190	+253 +228	+268 +228	+291 +228	+305 +280	+320 +280	+343 +280	+380 +280	+440 +280	+365 +340	+380 +340	+403 +340
160	180	+250 +210	+273 +210	+310 +210	+277 +252	+292 +252	+315 +252	+335 +310	+350 +310	+373 +310	+410 +310	+470 +310	+405 +380	+420 +380	+443 +380
180	200	+282 +236	+308 +236	+351 +236	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+379 +350	+396 +350	+422 +350	+465 +350	+535 +350	+454 +425	+471 +425	+497 +425
200	225	+304 +258	+330 +258	+373 +258	+339 +310	+356 +310	+382 +310	+414 +385	+431 +385	+457 +385	+500 +385	+570 +385	+499 +470	+516 +470	+542 +470
225	250	+330 +284	+356 +284	+399 +284	+369 +340	+386 +340	+412 +340	+454 +425	+471 +425	+497 +425	+540 +425	+610 +425	+549 +520	+566 +520	+592 +520
250	280	+367 +315	+396 +315	+445 +315	+417 +385	+437 +385	+466 +385	+507 +475	+527 +475	+556 +475	+605 +475	+685 +475	+612 +580	+632 +580	+661 +580
280	315	+402 +350	+431 +350	+480 +350	+457 +425	+477 +425	+506 +425	+557 +525	+577 +525	+606 +525	+655 +525	+735 +525	+682 +650	+702 +650	+731 +650
315	355	+447 +390	+479 +390	+530 +390	+511 +475	+532 +475	+564 +475	+626 +590	+647 +590	+679 +590	+730 +590	+820 +590	+766 +730	+787 +730	+819 +730
355	400	+492 +435	+524 +435	+575 +435	+566 +530	+587 +530	+619 +530	+696 +660	+717 +660	+749 +660	+800 +660	+890 +660	+856 +820	+877 +820	+909 +820
400	450	+553 +490	+587 +490	+645 +490	+635 +595	+658 +595	+692 +595	+780 +740	+803 +740	+837 +740	+895 +740	+990 +740	+960 +920	+983 +920	+1017 +920
450	500	+603 +540	+637 +540	+695 +540	+700 +660	+723 +660	+757 +660	+860 +820	+883 +820	+917 +820	+975 +820	+1070 +820	+1040 +1000	+1063 +1000	+1097 +1000

（续）

公称尺寸/mm		z						za			zb			zc		
大于	至	6	7	8	9	10	11	7	8	9	8	9	10	8	9	10
—	3	+32 +26	+36 +26	+40 +26	+51 +26	+66 +26	+86 +26	+42 +32	+46 +32	+57 +32	+54 +40	+65 +40	+80 +40	+74 +60	+85 +60	+100 +60
3	6	+43 +35	+47 +35	+53 +35	+65 +35	+83 +35	+110 +35	+54 +42	+60 +42	+72 +42	+68 +50	+80 +50	+98 +50	+98 +80	+110 +80	+128 +80
6	10	+51 +42	+57 +42	+64 +42	+78 +42	+100 +42	+132 +42	+67 +52	+74 +52	+88 +52	+89 +67	+103 +67	+125 +67	+119 +97	+133 +97	+155 +97
10	14	+61 +50	+68 +50	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+82 +64	+91 +64	+107 +64	+117 +90	+133 +90	+160 +90	+157 +130	+173 +130	+200 +130
14	18	+71 +60	+78 +60	+87 +60	+103 +60	+130 +60	+170 +60	+95 +77	+104 +77	+120 +77	+135 +108	+151 +108	+178 +108	+177 +150	+193 +150	+220 +150
18	24	+86 +73	+94 +73	+106 +73	+125 +73	+157 +73	+203 +73	+119 +98	+131 +98	+150 +98	+169 +136	+188 +136	+220 +136	+221 +188	+240 +188	+272 +188
24	30	+101 +88	+109 +88	+121 +88	+140 +88	+172 +88	+218 +88	+139 +118	+151 +118	+170 +118	+193 +160	+212 +160	+244 +160	+251 +218	+270 +218	+302 +218
30	40	+128 +112	+137 +112	+151 +112	+174 +112	+212 +112	+272 +112	+173 +148	+187 +148	+210 +148	+239 +200	+262 +200	+300 +200	+313 +274	+336 +274	+374 +274
40	50	+152 +136	+161 +136	+175 +136	+198 +136	+236 +136	+296 +136	+205 +180	+219 +180	+242 +180	+281 +242	+304 +242	+342 +242	+364 +325	+387 +325	+425 +325
50	65	+191 +172	+202 +172	+218 +172	+246 +172	+292 +172	+362 +172	+256 +226	+272 +226	+300 +226	+346 +300	+374 +300	+420 +300	+451 +405	+479 +405	+525 +405
65	80	+229 +210	+240 +210	+256 +210	+284 +210	+330 +210	+400 +210	+304 +274	+320 +274	+348 +274	+406 +360	+434 +360	+480 +360	+526 +480	+554 +480	+600 +480
80	100	+280 +258	+293 +258	+312 +258	+345 +258	+398 +258	+478 +258	+370 +335	+389 +335	+422 +335	+499 +445	+532 +445	+585 +445	+639 +585	+672 +585	+725 +585
100	120	+332 +310	+345 +310	+364 +310	+397 +310	+450 +310	+530 +310	+435 +400	+454 +400	+487 +400	+579 +525	+612 +525	+665 +525	+744 +690	+777 +690	+830 +690
120	140	+390 +365	+405 +365	+428 +365	+465 +365	+525 +365	+615 +365	+510 +470	+533 +470	+570 +470	+683 +620	+720 +620	+780 +620	+863 +800	+900 +800	+960 +800

（续）

公称尺寸/mm		z						za			zb			zc		
大于	至	6	7	8	9	10	11	7	8	9	8	9	10	8	9	10
140	160	+440 +415	+455 +415	+478 +415	+515 +415	+575 +415	+665 +415	+575 +535	+598 +535	+635 +535	+763 +700	+800 +700	+860 +700	+963 +900	+1000 +900	+1060 +900
160	180	+490 +465	+505 +465	+528 +465	+565 +465	+625 +465	+715 +465	+640 +600	+663 +600	+700 +600	+843 +780	+880 +780	+940 +780	+1063 +1000	+1100 +1000	+1160 +1000
180	200	+549 +520	+566 +520	+592 +520	+635 +520	+705 +520	+810 +520	+716 +670	+742 +670	+785 +670	+952 +880	+995 +880	+1065 +880	+1222 +1150	+1265 +1150	+1335 +1150
200	225	+604 +575	+621 +575	+647 +575	+690 +575	+760 +575	+865 +575	+786 +740	+812 +740	+855 +740	+1032 +960	+1075 +960	+1145 +960	+1322 +1250	+1365 +1250	+1435 +1250
225	250	+669 +640	+686 +640	+712 +640	+755 +640	+825 +640	+930 +640	+866 +820	+892 +820	+935 +820	+1122 +1050	+1165 +1050	+1235 +1050	+1422 +1350	+1465 +1350	+1535 +1350
250	280	+742 +710	+762 +710	+791 +710	+840 +710	+920 +710	+1030 +710	+972 +920	+1001 +920	+1050 +920	+1281 +1200	+1330 +1200	+1410 +1200	+1631 +1550	+1680 +1550	+1760 +1550
280	315	+882 +790	+842 +790	+871 +790	+920 +790	+1000 +790	+1110 +790	+1052 +1000	+1081 +1000	+1130 +1000	+1381 +1300	+1430 +1300	+1510 +1300	+1781 +1700	+1830 +1700	+1910 +1700
315	355	+936 +900	+957 +900	+989 +900	+1040 +900	+1130 +900	+1260 +900	+1207 +1150	+1239 +1150	+1290 +1150	+1589 +1500	+1640 +1500	+1730 +1500	+1989 +1900	+2040 +1900	+2130 +1900
355	400	+1036 +1000	+1057 +1000	+1089 +1000	+1140 +1000	+1230 +1000	+1360 +1000	+1357 +1300	+1389 +1300	+1440 +1300	+1739 +1650	+1790 +1650	+1880 +1650	+2189 +2100	+2240 +2100	+2330 +2100
400	450	+1140 +1100	+1163 +1100	+1197 +1100	+1255 +1100	+1350 +1100	+1500 +1100	+1513 +1450	+1547 +1450	+1605 +1450	+1947 +1850	+2005 +1850	+2100 +1850	+2497 +2400	+2555 +2400	+2650 +2400
450	500	+1290 +1250	+1313 +1250	+1347 +1250	+1405 +1250	+1500 +1250	+1650 +1250	+1663 +1600	+1697 +1600	+1755 +1600	+2197 +2100	+2255 +2100	+2350 +2100	+2697 +2600	+2755 +2600	+2850 +2600

注：1. 公称尺寸小于 1mm 时，各级的 a 和 b 均不采用。
2. IT14 至 IT18 的 h 偏差只用于大于 1mm 的公称尺寸。
3. 为避免相同值的重复，js 表列值以“$\pm X$”给出，可为 $es=+X$、$ei=-X$，如 $^{+0.23}_{-0.23}$mm。
4. IT14 至 IT18 的 js 偏差只用于大于 1mm 的公称尺寸。
5. j5、j6 和 j7 的某些极限值与 js5、js6 和 js7 一样用“$\pm X$”表示。
6. 公称尺寸至 24mm 的 t6 至 t8 的偏差值未列入表内，建议以 u6 至 u8 代替。如非要 t6 至 t8，则可按 GB/T 1800.1—2009 计算。
7. 公称尺寸至 14mm 的 v6 至 v8 的偏差值未列入表内，建议以 x6 至 x8 代替。如非要 v6 至 v8，则可按 GB/T 1800.1—2009 计算。
8. 公称尺寸至 18mm 的 y6 至 y8 的偏差值未列入表内，建议以 z6 至 z8 代替。如非要 y6 至 y8，则可按 GB/T 1800.1—2009 计算。

（3）孔、轴的公差带种类　公称尺寸至500mm的常用尺寸段范围内，国家标准规定了孔、轴的一般、常用和优先选用的公差带。其中，轴的一般、常用和优先的公差带为119种（见图6-7），方框内的59种为常用公差带，方框中带圆圈的13种为优先公差带。而孔的一般常用和优先的公差带为105种（见图6-8），其中，方框内的44种为常用公差带，方框内带圆圈的13种为优先公差带。

（4）基孔制与基轴制的优先与常用配合　公称尺寸至500mm的范围内，还规定了孔、轴公差带的配合。基孔制常用的配合为59个，其中优先配合为13个，见表6-6。基轴制常用的配合为47个，其中优先配合为13个，见表6-7。

6.1.4 一般公差、未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 1804—2000规定了未注公差的线性和角度尺寸公差的公差等级和极限偏差数值，见表6-8。由表6-8可见，标准把未注公差规定了4个等级，分别是精密级（f）、中等级（m）、粗糙级（c）和最粗级（v）。

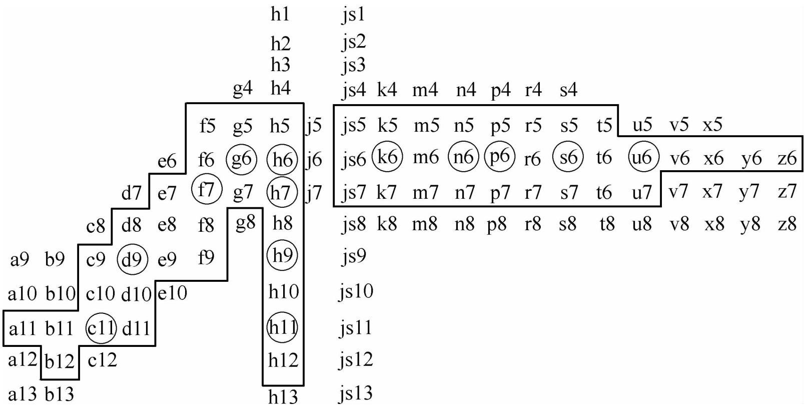


图6-7　公称尺寸≤500mm轴的一般、常用和优先选用的公差带

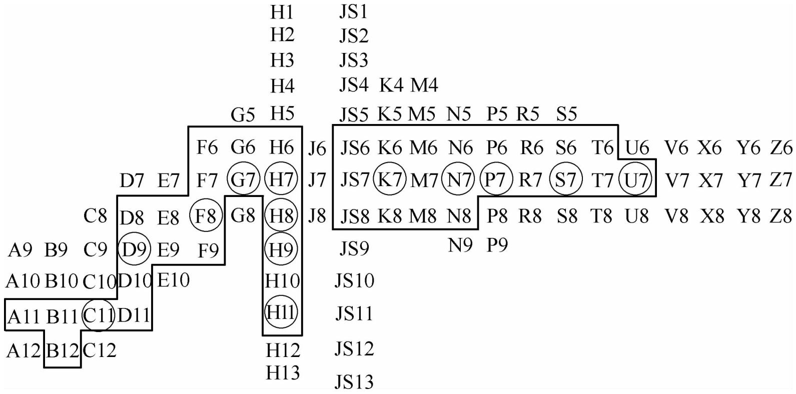


图6-8　公称尺寸≤500mm孔的一般、常用和优先选用的公差带

表 6-6　基孔制常用的配合

基准孔	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z
	轴																				
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
H6						$\frac{H6}{f5}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{js5}$	$\frac{H6}{k5}$	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$	$\frac{H6}{t5}$					
H7						$\frac{H7}{f6}$	◤$\frac{H7}{g6}$	◤$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{js6}$	◤$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{m6}$	◤$\frac{H7}{n6}$	◤$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	◤$\frac{H7}{s6}$	$\frac{H7}{t6}$	◤$\frac{H7}{u6}$	$\frac{H7}{v6}$	$\frac{H7}{x6}$	$\frac{H7}{y6}$	$\frac{H7}{z6}$
H8					$\frac{H8}{e7}$	◤$\frac{H8}{f7}$	$\frac{H8}{g7}$	◤$\frac{H8}{h7}$	$\frac{H8}{js7}$	$\frac{H8}{k7}$	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{p7}$	$\frac{H8}{r7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{t7}$	$\frac{H8}{u7}$				
				$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$		$\frac{H8}{h8}$													
H9			$\frac{H9}{c9}$	◤$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$		◤$\frac{H9}{h9}$													
H10			$\frac{H10}{c10}$	$\frac{H10}{d10}$				$\frac{H10}{h10}$													
H11	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	◤$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$				◤$\frac{H11}{h11}$													
H12		$\frac{H12}{b12}$						$\frac{H12}{h12}$													

注：1. $\frac{H6}{n5}$、$\frac{H7}{p6}$在公称尺寸≤3mm 和$\frac{H8}{r7}$的公称尺寸≤100mm 时，为过渡配合。

2. 标注◤符号者为优先配合。

表 6-7 基轴制常用的配合

基准轴	孔																				
	A	B	C	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
	间隙配合								过渡配合			过盈配合									
h5						F6/h5	G6/h5	H6/h5	JS6/h5	K6/h5	M6/h5	N6/h5	P6/h5	R6/h5	S6/h5	T6/h5					
h6						F7/h6	◤G7/h6	◤H7/h6	JS7/h6	◤K7/h6	M7/h6	◤N7/h6	◤P7/h6	R7/h6	◤S7/h6	T7/h6	◤U7/h6				
h7					E8/h7	◤F8/h7		◤H8/h7	JS8/h7	K8/h7	M8/h7	N8/h7									
h8				D8/h8	E8/h8	F8/h8		H8/h8													
h9				◤D9/h9	E9/h9	F9/h9		◤H9/h9													
h10				D10/h10				H10/h10													
h11	A11/h11	B11/h11	◤C11/h11	D11/h11				◤H11/h11													
h12		B12/h12						H12/h12													

注:标注◤符号者为优先配合。

表 6-8 未注公差的线性和角度尺寸的公差的公差等级和极限偏差数值

（单位：mm）

公差等级		精密 f	中等 m	粗糙 c	最粗 v
线性尺寸的极限偏差数值	0.5～3	±0.05	±0.1	±0.2	
	>3～6	±0.05	±0.1	±0.3	±0.5
	>6～30	±0.1	±0.2	±0.5	±1
	>30～120	±0.15	±0.3	±0.8	±1.5
	>120～400	±0.2	±0.5	±1.2	±2.5
	>400～1000	±0.3	±0.8	±2	±4
	>1000～2000	±0.5	±1.2	±3	±6
	>2000～4000	—	±2	±4	±8
倒圆半径与倒角高度尺寸的极限偏差数值	0.5～3	±0.2		±0.4	
	>3～6	±0.5		±1	
	>6～30	±1		±2	
	>30	±2		±4	
角度尺寸的极限偏差数值	<10	±1°		±1°30′	±3°
	>10～50	±30′		±1°	±2°
	>50～120	±20′		±30′	±1°
	>120～400	±10′		±15′	±30′
	>400	±5′		±10′	±20′

6.2 几何公差

零件的实际形状对理想形状的允许变动量称为形状公差；而实际位置对理想位置的允许变动量称为位置公差。

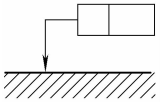
6.2.1 几何公差符号

几何公差的符号以及附加符号见表 6-9。

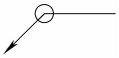
表 6-9 几何公差的符号以及附加符号

（GB/T 1182—2008）

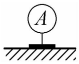
公差类型	几何特征	符号	有无基准
形状公差	直线度	—	无
	平面度	▱	无
	圆度	○	无
	圆柱度	⌭	无
	线轮廓度	⌒	无
	面轮廓度	⌓	无
方向公差	平行度	//	有
	垂直度	⊥	有
	倾斜度	∠	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
位置公差	位置度	⌖	有或无
	同心度（用于中心点）	◎	有
	同轴度（用于轴线）	◎	有
	对称度	⌯	有
	线轮廓度	⌒	有
	面轮廓度	⌓	有
跳动公差	圆跳动	↗	有
	全跳动	⌰	有

	说明	符号
附加符号	被测要素	
	基准要素	
	基准目标	$\phi 2$ / $A1$（圆内）
	理论正确尺寸	[50]
	延伸公差带	Ⓟ
	最大实体要求	Ⓜ
	最小实体要求	Ⓛ

（续）

	说　　明	符　　号
附加符号	自由状态条件（非刚性零件）	Ⓕ
	全周（轮廓）	
	包容要求	Ⓔ
	公共公差带	CZ
	小径	LD
	大径	MD
	中径、节径	PD
	线素	LE
	不凸起	NC
	任意横截面	ACS

注：1. GB/T 1182—1996 中规定的基准符号为



2. 如需标注可逆要求，可采用符号Ⓡ，见 GB/T 16671—2009。

6.2.2 几何公差的未注公差值

GB/T 1184—1996 规定了几何公差的未注公差值，适于常用设备加工的零件，一般均能保证精度等级。零件中众多的几何公差值均可采用未注公差值，即不需要在图样中予以标注。几何公差的未注公差值分为 H、K、L 三个公差等级，各项几何公差的未注公差值及有关规定分述如下：

（1）形状公差的未注公差值

1）直线度和平面度的未注公差值见表 6-10。

2）圆度的未注公差值等于相应的直径公差值，但不能大于表 6-13 中的径向圆跳动值。

3）圆柱度的未注公差值不作规定，但圆柱度误差由圆度、直线度和素线平行度误差三部分组成，而其中的每一项误差均由它们的注出公差或未注公差控制。

（2）位置公差的未注公差值

1）平行度的未注公差值等于给出的尺寸公差值，或是在直线度和平面度的相应未注公差值中取较大者。

表 6-10　直线度和平面度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围					
	≤10	>10~30	>30~100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

注：1. 对于直线度，应按其相应线的长度作为基本长度选择公差值。

2. 对于平面度，应按其表面的较长一侧或圆表面的直径选择公差值。

2）垂直度的未注公差值见表 6-11。

表 6-11　垂直度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

注：取形成直角的两边中较长的一边作为基准，较短的一边作为被测要素；若两边长度相等，则取其中任意一边作为基准。

3）对称度的未注公差值见表 6-12。

表 6-12　对称度的未注公差值

（单位：mm）

公差等级	基本长度范围			
	≤100	>100~300	>300~1000	>1000~3000
H	0.5	0.5	0.5	0.5
K	0.6	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

注：1. 应取两要素较长者作为基准，较短者作为被测要素；若两要素长度相等，则可选任一要素为基准。

2. 对称度未注公差值用于至少两个要素中一个是中心平面，或两个要素的轴线互相垂直。

4）圆跳动（径向、端面和斜向）的未注公差值见表 6-13。

5）同轴度的未注公差值未作规定，在极限状况下，可以和表 6-13 中的圆跳动未注公差值相等。

表 6-13　圆跳动（径向、端面和斜向）的未注公差值

公差等级	公差值/mm
H	0.1
K	0.2
L	0.5

国家标准对线轮廓度、面轮廓度、倾斜度、位置度和全跳动的未注公差值均未作具体规定，可由各要素的注出或未注的几何公差、线性尺寸公差或角度公差来控制。

如采用标准规定的未注公差值，应在图样标题栏附近或在技术要求、技术文件中注出标准号和公差等级代号，如 GB/T 1184—1996。

6.2.3　图样上注出几何公差的规定

GB/T 1184—1996 规定了 5 个项目的公差值或数系表。

（1）公差值及数系表

1）直线度和平面度的公差值见表 6-14。

2）圆度和圆柱度的公差值见表 6-15。

3）平行度、垂直度和倾斜度的公差值见表 6-16。

4）同轴度、对称度、圆跳动和全跳动的公差值见表 6-17。

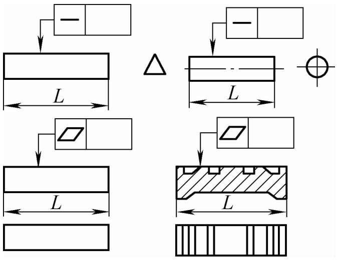
5）位置度未规定公差等级，只规定了公差值数系见表 6-18。

公差值以量具和零件在标准温度（20℃）下测量为准。

（2）几何公差等级的应用　几何公差等级的应用实例见表 6-19 ~ 表 6-22。

表 6-14　直线度和平面度的公差值

主参数 *L* 图例

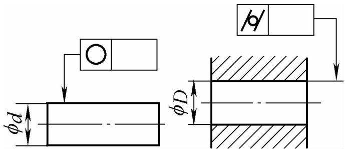


（单位：μm）

主参数 *L* /mm	公差等级 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
>10 ~ 16	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
>16 ~ 25	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
>25 ~ 40	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
>40 ~ 63	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
>63 ~ 100	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
>100 ~ 160	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
>160 ~ 250	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
>250 ~ 400	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
>400 ~ 630	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
>630 ~ 1000	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600

表 6-15　圆度和圆柱度的公差值

主参数 *d*（*D*）图例



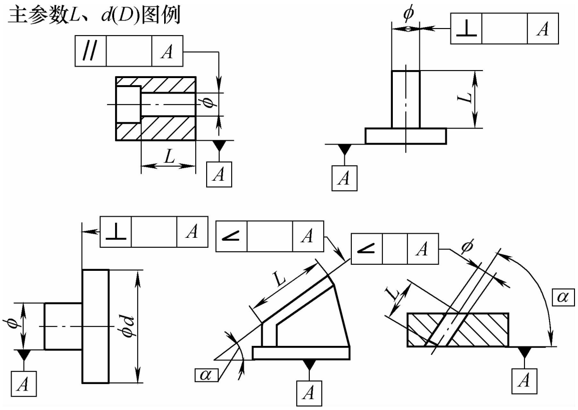
（单位：μm）

（续）

主参数 d(D)/mm	公差等级												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
>3~6	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
>6~10	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
>10~18	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
>18~30	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
>30~50	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
>50~80	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
>80~120	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
>120~180	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
>180~250	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115
>250~315	1.0	1.6	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130
>315~400	1.2	2	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140
>400~500	1.5	2.5	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155

表 6-16 平行度、垂直度和倾斜度的公差值

主参数 *L*，*d*（*D*）图例

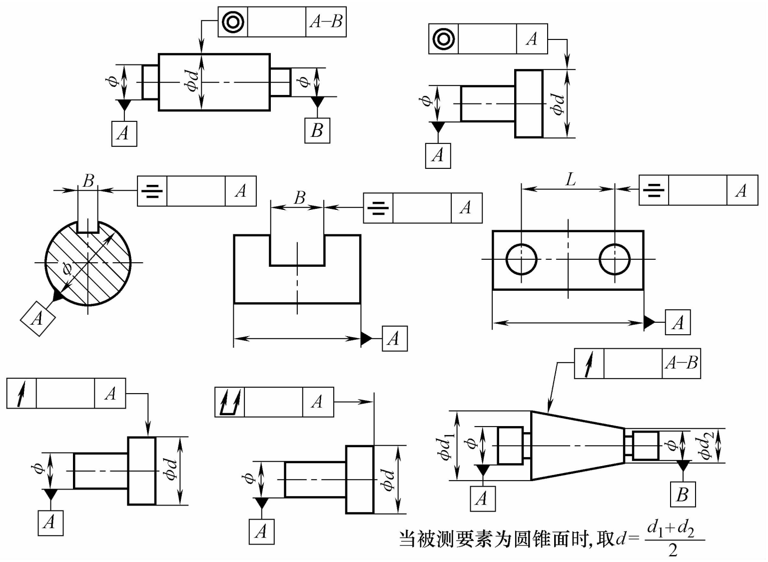


（单位：μm）

主参数 L，d（D）/mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
>10~16	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
>16~25	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
>25~40	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
>40~63	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
>63~100	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
>100~160	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
>160~250	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
>250~400	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
>400~630	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
>630~1000	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200

表 6-17 同轴度、对称度、圆跳动和全跳动的公差值

主参数 $d(D)$,B,L 图例



（单位：μm）

主参数 $d(D)$,B,L/mm	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
>1 ~ 3	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
>3 ~ 6	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
>6 ~ 10	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
>10 ~ 18	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
>18 ~ 30	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
>30 ~ 50	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
>50 ~ 120	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
>120 ~ 250	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
>250 ~ 500	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800
>500 ~ 800	3	5	8	12	20	30	50	80	150	300	500	1000
>800 ~ 1250	4	6	10	15	25	40	60	100	200	400	600	1200

表 6-18 位置度公差值数系表 （单位：μm）

1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
1×10^n	1.2×10^n	1.5×10^n	2×10^n	2.5×10^n	3×10^n	4×10^n	5×10^n	6×10^n	8×10^n

注：n 为正整数。

表 6-19 直线度、平面度公差等级的应用

公差等级	应 用 举 例
5	1 级平板，2 级宽平尺，平面磨床的纵导轨、垂直导轨、立柱导轨及工作台，液压龙门刨床和转塔车床床身导轨，柴油机进气、排气阀门导杆
6	普通机床导轨面，如卧式车床、龙门刨床、滚齿机、自动车床等的床身导轨、立柱导轨，柴油机壳体

（续）

公差等级	应用举例
7	2级平板，机床主轴箱、摇臂钻床底座和工作台，镗床工作台，液压泵盖，减速器壳体结合面
8	机床传动箱体，挂轮箱体，车床溜板箱体，柴油机气缸体，连杆分离面，缸盖结合面，汽车发动机缸盖、曲轴箱结合面，液压管件和法兰连接面
9	3级平板，自动车床床身底面，摩托车曲轴箱体，汽车变速箱壳体，手动机械的支承面

表6-20 圆度、圆柱度公差等级的应用

公差等级	应用举例
5	一般计量仪器主轴、测杆外圆柱面，陀螺仪轴颈，一般机床主轴轴颈及主轴轴承孔，柴油机、汽油机活塞、活塞销，与E级滚动轴承配合的轴颈
6	仪表端盖外圆柱面，一般机床主轴及前轴承孔，泵、压缩机的活塞、气缸，汽油发动机凸轮轴，纺机锭子，减速传动轴轴颈，高速船用柴油机、拖拉机曲轴主轴颈，与E级滚动轴承配合的外壳孔，与G级滚动轴承配合的轴颈
7	大功率低速柴油机曲轴轴颈、活塞、活塞销，连杆、气缸，高速柴油机箱体轴承孔，千斤顶或压力油缸活塞，机车传动轴，水泵及通用减速器转轴轴颈，与G级滚动轴承配合的外壳孔
8	低速发动机、大功率曲柄轴轴颈，压气机连杆盖、体，拖拉机气缸、活塞，炼胶机冷铸轴辊，印刷机传墨辊，内燃机曲轴轴颈，柴油机凸轮轴承孔、凸轮轴，拖拉机、小型船用柴油机气缸套
9	空气压缩机缸体，液压传动筒，通用机械杠杆与拉杆用套筒销子，拖拉机活塞环、套筒孔

表6-21 平行度、垂直度、倾斜度公差等级的应用

公差等级	应用举例
4，5	卧式车床导轨，重要支承面，机床主轴孔对基准的平行度，精密机床重要零件，计量仪器、量具、模具的基准面和工作面，床头箱体重要孔，通用减速器壳体孔，齿轮泵的油孔端面，发动机轴和离合器的凸缘，气缸支承端面，安装精密液动轴承的壳体孔的凸肩
6，7，8	一般机床的基准面和工作面，压力机和锻锤的工作面，中等精度钻模的工作面，机床一般轴承孔对基准面的平行度；变速器箱体孔，主轴花键对定心直径部位轴线的平行度；重型机械轴承盖端面，卷扬机、手动传动装置中的传动轴，一般导轨，主轴箱体孔，刀架，砂轮架，气缸配合面对基准轴线，活塞销孔对活塞中心线的垂直度；液动轴承内、外圈端面对轴线的垂直度
9，10	低精度零件，重型机械滚动轴承端盖，柴油机、煤气发动机箱体曲轴孔、曲轴颈，花键轴和轴肩端面，传送带运输机法兰盘等端面对轴线的垂直度，手动卷扬机及传动装置中的轴承端面、减速器壳体平面

表6-22 同轴度、对称度、跳动公差等级的应用

公差等级	应用举例
5，6，7	这是应用范围较广的公差等级。用于几何精度要求较高、公差等级为IT8及高于IT8的零件。5级常用于机床轴颈，计量仪器的测量杆，汽轮机主轴，柱塞泵转子，高精度滚动轴承外圈，一般精度滚动轴承内圈，回转工作台端面跳动。7级用于内燃机曲轴、凸轮轴、齿轮轴、水泵轴、汽车后轮输出轴，电动机转子、印刷机传墨辊的轴颈，键槽
8，9	常用于几何精度要求一般，公差等级IT9至IT11的零件。8级用于拖拉机发动机分配轴轴颈，与9级精度以下齿轮相配的轴、水泵叶轮、离心泵体、棉花精梳机前后滚子、键槽等；9级用于内燃机气缸套配合面，自行车中轴

6.2.4 几何误差的测量方法

1. 直线度误差的常用测量方法

直线度误差的常用测量方法见表 6-23。

2. 平面度误差的常用测量方法

平面度误差的常用测量方法见表 6-24。

3. 圆度误差的常用测量方法

圆度误差的常用测量方法见表 6-25。

4. 轮廓度误差的常用测量方法

轮廓度误差的常用测量方法见表 6-26。

5. 定向误差的常用测量方法

定向误差的常用测量方法见表 6-27。

6. 定位误差的常用测量方法

定位误差的常用测量方法见表 6-28。

表 6-23 直线度误差的常用测量方法

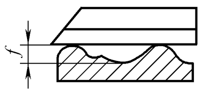
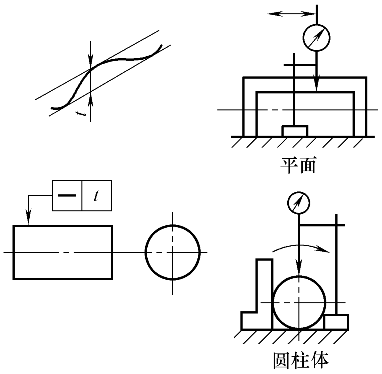
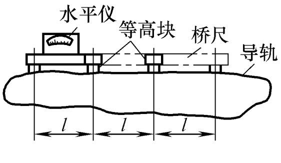
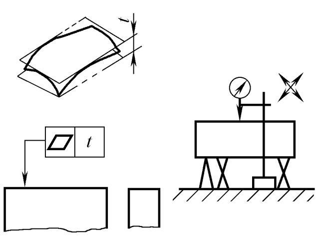
方法	图示	测量说明
间隙法		用刀口尺或样板平尺作理想要素，使其与被测线贴合，观测光隙大小，可直接得出直线度误差。该方法适用于被测长度不大于300mm 的零件
平板测微仪法		用测量平板或平尺作理想要素，用测微仪测量被测线上各点相对测量平板的变动量。该方法适用于中、小型零件
分段测量法		用水平仪或准直仪，按节距沿被测素线移动分段测量，由各段测量值求出全长的直线度误差。该方法适用于中、长导轨水平方向直线度的测量

表 6-24 平面度误差的常用测量方法

方法	图示	测量说明
平板测微仪法		以测量平板工作表面作测量基面，用带架测微仪测出各点对测量基面的偏离量。该方法适用于中、小型平面

（续）

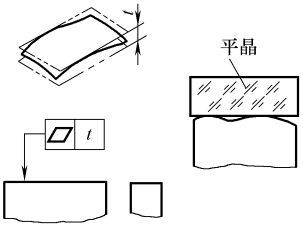
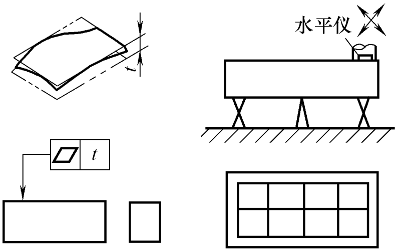
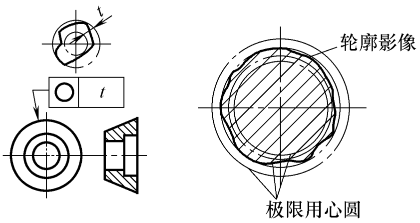
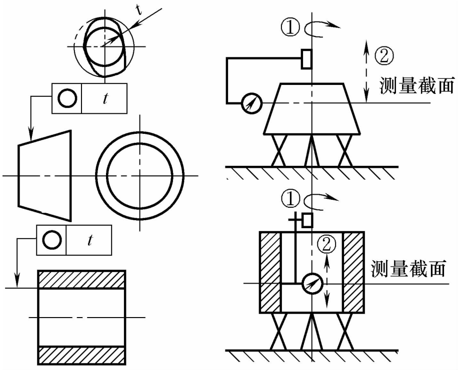
方法	图示	测量说明
平晶干涉法		以光学平晶工作面作测量基面，利用光波干涉原理测得平面度误差。该方法适用于精研小平面
水平仪测量法		以水平面作测量基准，按一定布线测得相邻点的高度差，再换算出各点对同一水平面的高度差值

表 6-25 圆度误差的常用测量方法

方法	图示	测量说明
投影比较法		将被测要素的投影与极限同心圆比较，适用于薄型或刃口形边缘的小零件
圆度仪法		用精密回转轴系上的一个动点（测头）所产生的理想圆与被测实际轮廓比较，测得半径变动量（也可工件转动，测头不动）。该方法适用于精度要求较高的零件（在缺少圆度仪时，也可用光学分度头、分度台作回转分度机构）

（续）

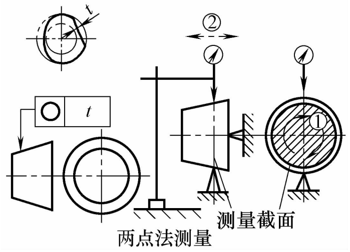
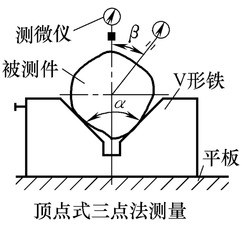
方法	图　　示	测量说明
两点法		按测量特征参数的原则，在被测圆周上通过对径上两点进行测量，确定圆度误差。两点法用来测量被测轮廓为偶数棱的圆度误差
三点法		在被测圆周上通过对两固定支承和一测头共三点进行测量，确定圆度误差。三点法用来测奇数棱的圆度误差，三点法和两点法的组合用于测量不知具体棱数的轮廓

表 6-26　轮廓度误差的常用测量方法

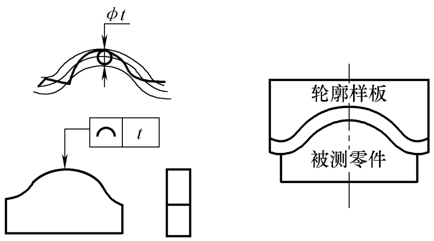
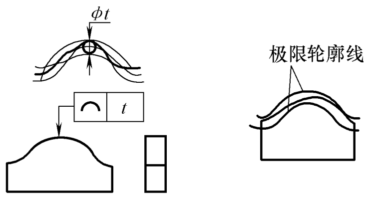
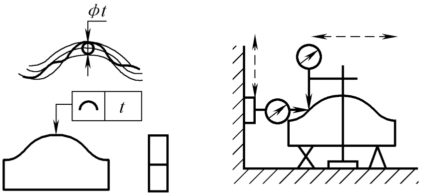
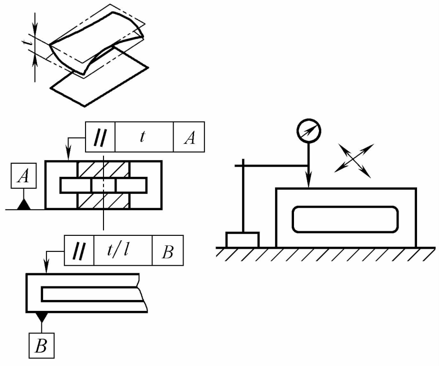
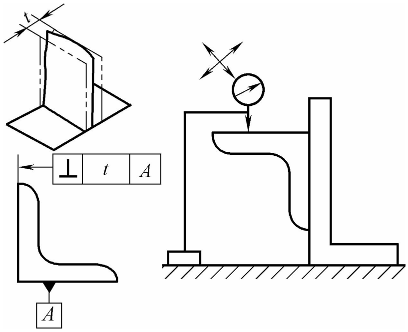
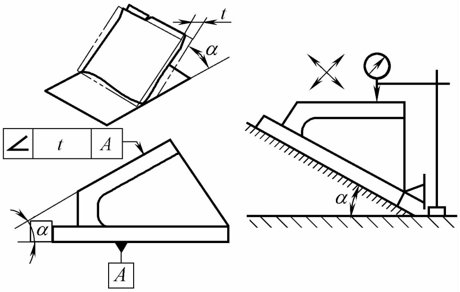
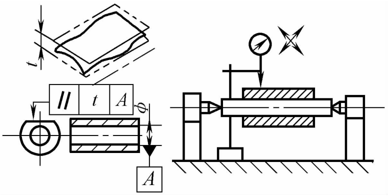
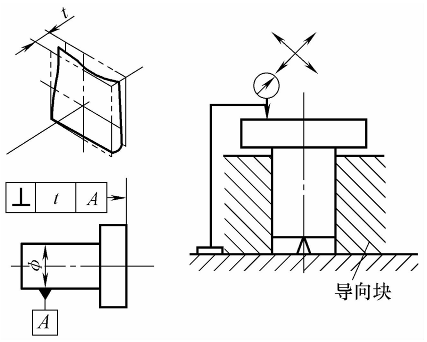
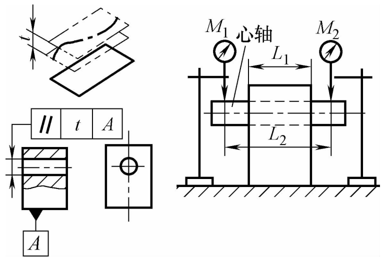
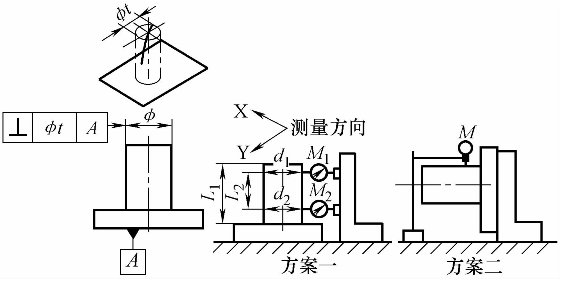
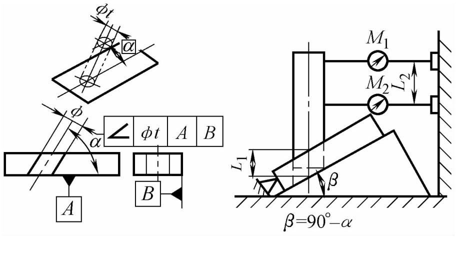
方法	图　　示	测量说明
轮廓样板法		用轮廓样板与被测零件实际轮廓曲线进行比较，根据光隙法原理，取最大间隙作为该零件的线轮廓度误差
投影放大比较法		在投影仪上，将被测零件的轮廓曲线投影到屏幕上，与已放大的理论轮廓曲线进行比较，根据比较结果是否在公差带内来判断被测零件轮廓是否合格。该方法适用于对较小、较薄零件的线轮廓度误差的测量
坐标法		利用工具显微镜、三坐标测量机、光学分度头加辅助设备，均可测量被测轮廓上各点的坐标值。将测得的坐标值与理想轮廓的坐标值进行比较，即可求出被测件的轮廓度误差值

表 6-27 定向误差的常用测量方法

方法	测量项目	图 示
在平板上检测	面对面的平行度误差测量	
在平板上检测	面对面的垂直度误差测量	
在平板上检测	面对面的倾斜度误差测量	
在平板上检测	面对线的平行度误差测量	

（续）

方法	测量项目	图 示
在平板上检测	面对线的垂直度误差测量	
在平板上检测	线对面的平行度误差测量	
在平板上检测	线对面的垂直度误差测量	
在平板上检测	线对面的倾斜度误差测量	

（续）

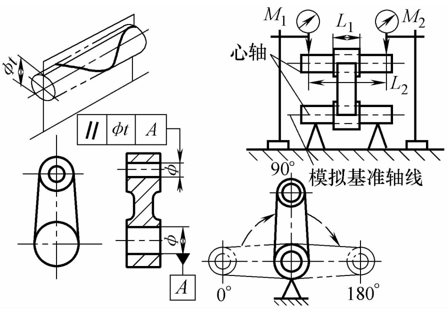
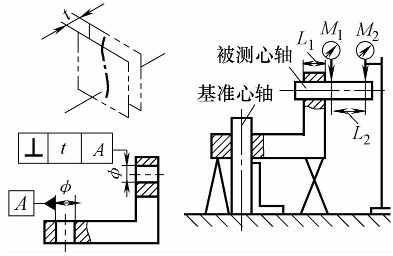
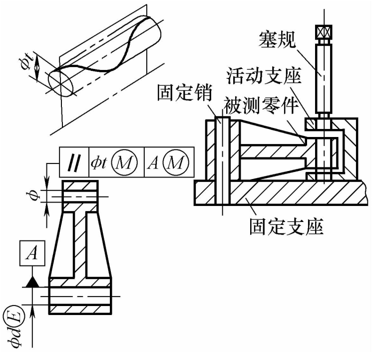
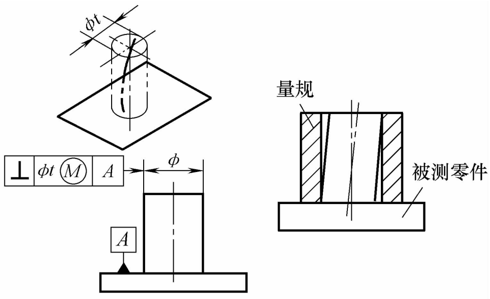
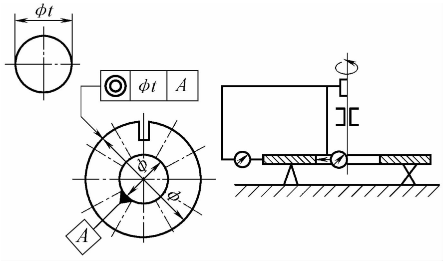
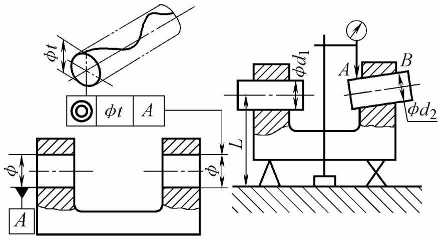
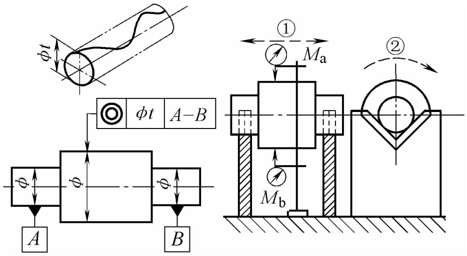
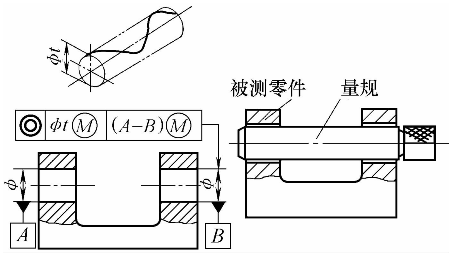
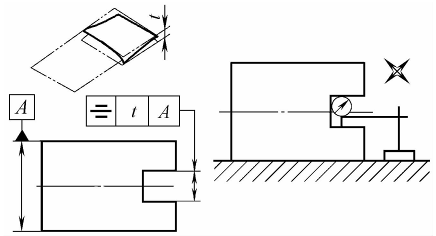
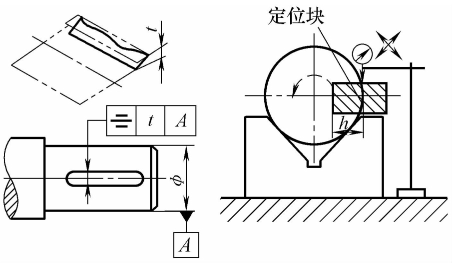
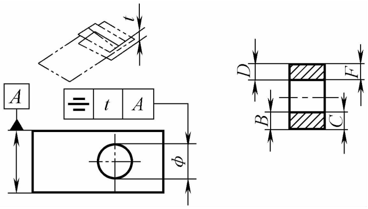
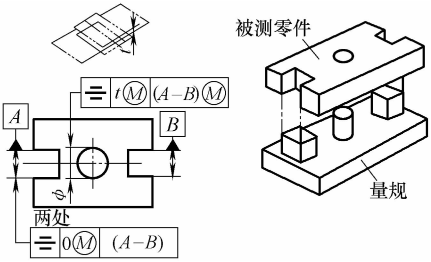
方法	测量项目	图　　示
在平板上检测	线对线的平行度误差测量	
在平板上检测	线对线的垂直度误差测量	
用位置量规测量	平行度的测量	
用位置量规测量	垂直度的测量	

表 6-28 定位误差的常用测量方法

方 法	测量项目	图 示
用测量径向变动的方法	同轴度误差测量	
在平板上测量	同轴度误差测量	
在平板上测量	对公共基准轴线的同轴度误差测量	
用同轴度量规测量	同轴度误差测量	
在平板上用打表测量	面对面的对称度误差测量	

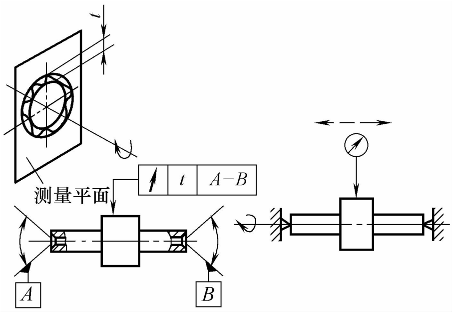
（续）

方法	测量项目	图示
在平板上用打表测量	面对线的对称度误差测量	
用测量壁厚的方法	对称度误差的测量	
用位置量规测量	对称度误差的测量	

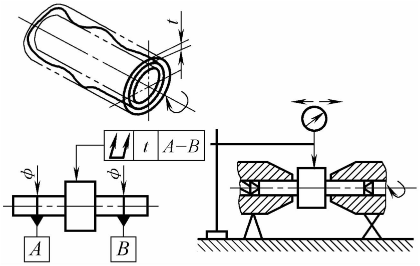
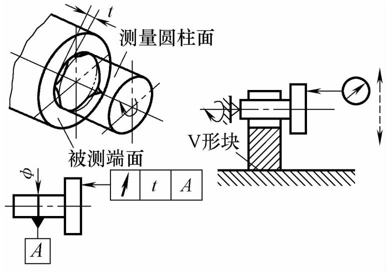
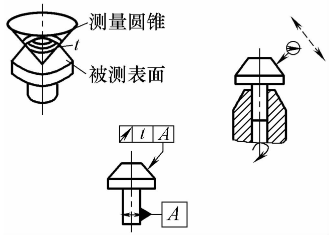
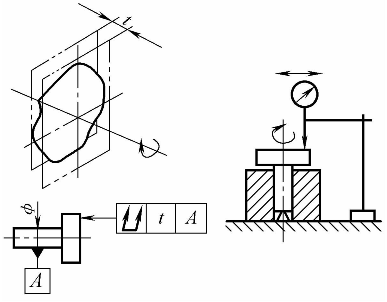
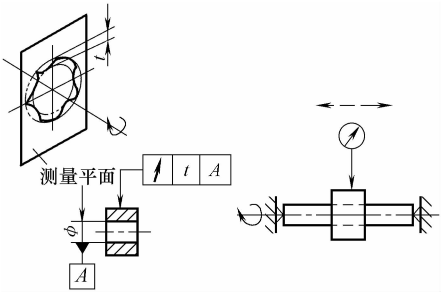
7. 跳动量的常用测量方法

跳动量的常用测量方法见表6-29。

表6-29 跳动量的常用测量方法

方法	测量项目	图示
用双顶尖方法	径向圆跳动误差测量	

（续）

方　　法	测量项目	图　　示
用双套筒方法	径向全跳动误差测量	
用V形块方法	端面圆跳动误差测量	
用单套筒方法	斜向圆跳动误差测量	
用单套筒方法	端面全跳动误差测量	
用心轴方法	径向圆跳动误差测量	

6.3　表面粗糙度

表面粗糙度对零件的配合性质、耐磨性、耐蚀性、抗疲劳能力、接触刚度、密封性及外观等都有重要影响，是评定零件表面质量的重要指标。

6.3.1　表面粗糙度的评定参数

轮廓算术平均偏差 *Ra* 数值见表 6-30，轮廓最大高度 *Rz* 的数值见表 6-31。

表 6-30　轮廓算术平均偏差 *Ra* 的数值

（摘自 GB/T 1031—2009）

（单位：μm）

0.012	0.2	3.2	50
0.025	0.4	6.3	100
0.05	0.8	12.5	
0.1	1.6	25	

表 6-31　轮廓最大高度 *Rz* 的数值

（摘自 GB/T 1031—2009）

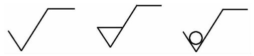
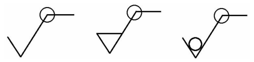
（单位：μm）

0.025	0.4	6.3	100
0.05	0.8	12.5	200
0.1	1.6	25	400
0.2	3.2	50	800

6.3.2　表面粗糙度的符号与代号

表面粗糙度的符号及意义见表 6-32（参照 GB/T 131—2006）。

表 6-32　表面粗糙度的符号及意义

符号	意　义　说　明
	基本符号，表示表面可用任何方法获得。当不加注粗糙度参数值或有关说明（例如表面处理、局部热处理状况等）时，仅适用简化代号标注
	基本符号加一短划，表示表面是用去除材料的方法获得，例如车、铣、钻、磨、剪切、抛光、腐蚀、电火花加工、气割等
	表示表面是用不去除材料的方法获得，例如铸造、锻造、冲压变形、热轧、冷轧、粉末冶金等，或者是用于保持原供应状况的表面（包括保持上道工序的状况）
	在上述三个符号的长边上均可以加一横线，用于标注有关参数和说明
	在上述三个符号上均可加一小圆，表示所有表面具有相同的表面粗糙度要求

（续）

为了明确对表面粗糙度的要求，除了标注表面粗糙度的参数代号和数值外，必要时应标注补充要求，其注写位置见图 6-9。图中：

1）位置 a：注写表面粗糙度的参数代号、极限值等。

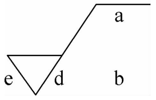


图 6-9　表面粗糙度补充要求的注写位置图

2）位置 b：注写两个或多个表面粗糙度要求。

3）位置 c：注写加工方法、涂层、表面处理或其他加工工艺要求等。

4）位置 d：注写表面加工纹理方向，如“=”、“×”、“M”等符号（见表 6-33）。

5）位置 e：注写加工余量，以 mm 为单位给出数值。

表面粗糙度参数标注示例见表 6-34。

表 6-33 常见的表面加工纹理方向

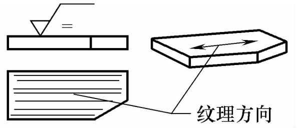
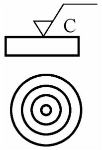
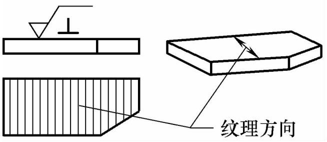
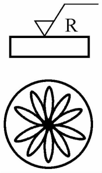
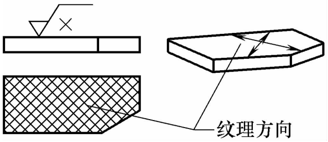
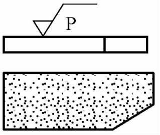
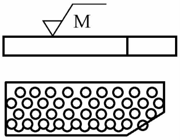
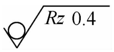
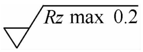
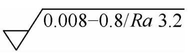
符号	说明	示意图	符号	说明	示意图
=	纹理平行于视图所在的投影面		C	纹理呈近似同心圆且圆心与表面中心相关	
⊥	纹理垂直于视图所在的投影面		R	纹理呈近似的放射状与表面圆心相关	
×	纹理呈两斜向交叉且与视图所在的投影面相交		P	纹理呈微粒、凸起，无方向	
M	纹理呈多方向				

表 6-34 表面粗糙度参数标注示例

(GB/T 131—2006)

符号	含义/解释
	表示不允许去除材料，单向上限值，默认传输带，*R* 轮廓，粗糙度的最大高度 0.4μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“16% 规则”（默认）
	表示去除材料，单向上限值，默认传输带，*R* 轮廓，粗糙度最大高度的最大值 0.2μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“最大规则”
	表示去除材料，单向上限值，传输带 0.008～0.8mm，*R* 轮廓，算术平均偏差 3.2μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“16% 规则”（默认）

（续）

符号	含义/解释
−0.8/*Ra*3 3.2	表示去除材料，单向上限值，传输带：根据 GB/T 6062—2009，取样长度 0.8μm（λ_s 默认 0.0025mm），*R* 轮廓，算术平均偏差 3.2μm，评定长度包含 3 个取样长度，“16% 规则”（默认）
U *Ra* max 3.2 L *Ra* 0.8	表示不允许去除材料，双向极限值，两极限值均使用默认传输带，*R* 轮廓，上限值：算术平均偏差 3.2μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“最大规则”。下限值：算术平均偏差 0.8μm，评定长度为 5 个取样长度（默认），“16% 规则”（默认）
0.8−25/*Wz*3 10	表示去除材料，单向上限值，传输带 0.8－25mm，*W* 轮廓，波纹度最大高度 10μm，评定长度包含 3 个取样长度，“16% 规则”（默认）
0.08−/*Pt* max 25	表示去除材料，单向上限值，传输带 λ_s＝0.008mm，无长波滤波器，*P* 轮廓，轮廓总高 25μm，评定长度等于工件长度（默认），“最大规则”
0.0025−0.1//*Rx* 0.2	表示任意加工方法，单向上限值，传输带 λ_s＝0.0025mm，*A*＝0.1mm，评定长度 3.2mm（默认），粗糙度图形参数，粗糙度图形最大深度 0.2μm，“16% 规则”（默认）
/10/*R* 10	表示不允许去除材料，单向上限值，传输带 λ_s＝0.008mm（默认），*A*＝0.5mm（默认），评定长度 10mm，粗糙度图形参数，粗糙度图形平均深度 10μm，“16% 规则”（默认）
*W*1	表示去除材料，单向上限值，传输带 *A*＝0.5mm（默认），*B*＝2.5mm（默认），评定长度 16mm（默认），波纹度图形参数，波纹度图形平均深度 1mm，“16% 规则”（默认）
−0.3/6/*AR* 0.09	表示任意加工方法，单向上限值，传输带 λ_s＝0.008mm（默认），*A*＝0.3mm（默认），评定长度 6mm，粗糙度图形参数，粗糙度图形平均间距 0.08mm，“16% 规则”（默认）

6.3.3 各级表面粗糙度的表面特征、加工方法与应用举例

各级表面粗糙度的表面特征、加工方法与应用举例见表 6-35。

6.3.4 各种加工方法所能达到的表面粗糙度

各种加工方法所能达到的表面粗糙度见表 6-36。

表 6-35 各级表面粗糙度的表面特征、加工方法与应用举例

表面微观特征		*Ra*/μm	*Rz*/μm	加工方法	应用举例
粗糙表面	微见刀痕	≤20	≤80	粗车、粗刨、粗铣、钻、毛锉、锯断	半成品粗加工的表面，非配合加工表面，如端面、倒角、钻孔、齿轮带轮侧面、键槽底面、垫圈接触等

（续）

表面微观特征		Ra/μm	Rz/μm	加工方法	应用举例
半光表面	可见加工痕迹	≤10	≤40	车、刨、铣、镗、钻、粗铰	轴上不安装轴承、齿轮处的非配合表面，紧固件的自由装配表面，轴和孔的退刀槽等
	微见加工痕迹	≤5	≤20	车、刨、铣、镗、磨、拉、粗刮、滚压	半精加工表面，箱体、支架、盖面、套筒等和其他零件结合而无配合要求的表面，需要发蓝的表面等
	看不清加工痕迹	≤2.5	≤10	车、刨、铣、镗、磨、拉、刮、滚压、铣齿	接近于精加工表面，箱体上安装轴承的镗孔面、齿轮的工作面等
光表面	可辨加工痕迹方向	≤1.25	≤6.3	车、镗、磨、拉、精铰、磨齿、滚压	圆柱销、圆锥销，与滚动轴承配合的表面，卧式车床导轨面，内、外花键定心表面等
	微辨加工痕迹方向	≤0.63	≤3.2	精铰、精镗、磨、滚压	要求配合性质稳定的配合表面，工作时受交变应力的重要零件，较高精度车床导轨面等
	不辨加工痕迹方向	≤0.32	≤1.6	精磨、研磨、珩磨	精密机床主轴锥孔、顶尖圆锥面，发动机曲轴、凸轮轴工作面，高精度齿轮齿面等
极光表面	暗光泽面	≤0.16	≤0.8	精磨、研磨、普通抛光	精密机床主轴颈表面、一般量规工作表面，汽车套内表面，活塞销表面等
	亮光泽面	≤0.08	≤0.4	超精磨、镜面磨削、精抛光	精密机床主轴颈表面、滚动轴承的滚珠，高压油泵中柱塞孔和柱塞配合的表面
	镜状光泽面	≤0.04	≤0.2		
	镜面	≤0.01	≤0.05	镜面磨削、超精研	高精度量仪、量块工作表面，光学仪器中的金属镜面等

表 6-36 各种加工方法所能够达到的表面粗糙度

加工方法	表面粗糙度 Ra/μm	加工方法	表面粗糙度 Ra/μm
圆片锯割断	80～20	车削端面：	
车削外圆：		粗车	20～10
粗车	20～10	半精车：	
半精车：		金属	10～5
金属	10～5	非金属	10～2.5
非金属	5～2.5	精车：	
精车：		金属	10～2.5
金属	10～2.5	非金属	10～2.5
非金属	5～1.25	细车：	
细车（或金刚石车）：		金属	1.25～0.63
金属	1.25～0.32	非金属	1.25～0.32
非金属	0.63～0.16		

（续）

加工方法	表面粗糙度 $Ra/\mu m$	加工方法	表面粗糙度 $Ra/\mu m$
割槽和切断：		细	1.25～0.32
零件的端面或槽的内侧面：		高速铣削：	
一次行程	20	粗	2.5～1.25
二次行程	10～5	精	0.63～0.32
镗孔：		刨削：	
粗镗	20～10	粗	20～10
半精镗：		精	10～2.5
金属	10～5	细（光整加工）	1.25～0.32
非金属	10～2.5	槽的表面	10～5
精镗：		插削	20～5
金属	5～1.25	拉削：	
非金属	10～2.5	精	2.5～0.63
细镗（或金刚石镗）：		细	0.32～0.16
金属	1.25～0.32	推削：	
非金属	1.25～0.63	精	1.25～0.32
钻和扩钻	20～2.5	细	0.63～0.04
扩孔：		螺纹加工：	
粗（有表皮）	20～10	切削：	
精	10～2.5	板牙、丝锥、自开式板牙头	5～1.25
锪倒角（孔的）	5～2.5	车刀或梳刀车、铣	10～1.25
铰孔：		磨	1.25～0.32
半精铰（一次铰孔）：		研磨	1.25～0.08
钢	10～5	滚压：	
黄铜	10～2.5	搓丝模	2.5～1.25
精铰（第二次铰）：		滚丝模：	
铸铁	5～1.25	在机床上用手动进给	2.5～0.63
钢、轻合金	2.5～1.25	在机床上用机械进给	0.63
黄铜、青铜	1.25～0.63	在机床上用液压进给	0.63～0.32
细铰：		齿轮及花键加工：	
钢	1.25～0.32	切削：	
轻合金	1.25～0.63	粗滚	5～2.5
黄铜、青铜	0.32～0.16	精滚	2.5～1.25
圆柱铣刀铣削：		精插	2.5～1.25
粗	20～5	精刨	5～1.25
精	5～1.25	拉	5～2.5
细	1.25～0.63	剃齿	1.25～0.32
套式面铣刀铣削：		磨	1.25～0.16
粗	20～5	研	0.63～0.32
精	5～0.63	滚压：	

（续）

加工方法	表面粗糙度 $Ra/\mu m$	加工方法	表面粗糙度 $Ra/\mu m$
磨齿前滚压	1.25 ~ 0.63	压嵌式研磨：	
冷滚压	0.32 ~ 0.16	粗	0.63 ~ 0.32
外圆磨、内圆磨：		精	0.32 ~ 0.08
半精（一次加工）	10 ~ 1.25	细（光整加工）	0.08 ~ 0.01
精	1.25 ~ 0.32	精整研磨：	
细	0.32 ~ 0.16	手工	1.25 ~ 0.01
用精密修整的磨轮磨削	0.08 ~ 0.04	机械	0.32 ~ 0.16
平面磨：		砂轮清理	80 ~ 10
精	5 ~ 0.32	砂布抛光（无润滑油）：	
细	0.32 ~ 0.08	原始粗糙度 Ra　砂布粒度	
珩磨：		≤10　24	2.5 ~ 1.25
粗（一次加工）	1.25 ~ 0.32	≤5　36	1.25
精（细）	0.32 ~ 0.04	5 ~ 2.5　60	0.63
超级加工：		5 ~ 2.5　80	0.63 ~ 0.32
精	1.25 ~ 0.16	2.5　100	0.32
细	0.16 ~ 0.08	2.5 ~ 1.25　140	0.32 ~ 0.16
镜面的（两次加工）	0.04 ~ 0.02	1.25　180 ~ 250	0.16
涂敷式研磨：		钳工锉削：	20 ~ 1.25
精	1.25 ~ 0.32	刮销　25mm × 25mm 内点数：	
细	0.32 ~ 0.01	8 ~ 10	1.25
抛光：		>10 ~ 13	0.63
精	1.25 ~ 0.16	>13 ~ 16	0.32
细（镜面的）	0.16 ~ 0.04	>16 ~ 20	0.16
砂带抛光	0.32 ~ 0.16	>20 ~ 25	0.08
电抛光	2.5 ~ 0.02		

6.3.5 表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系

尺寸≤500mm 的孔、轴表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系见表 6-37 和表 6-38。

6.3.6 表面粗糙度的检测

表面粗糙度的检测方法有比较法、针描法、印模法、光切法和干涉法等。

（1）比较法　比较法是将被测工件表面与已知表面粗糙度参数的样块进行比较，通过视觉和触觉来判断被测表面粗糙度状况的方法。在车间生产条件下，这是一种简便、实用、低成本的检测方法。

采用比较法检测工件的表面粗糙度，首先要正确选择比较样块。比较样块应尽可能与被测工件具有相同的材料、表面形状、加工方法及加工表面纹理方向（见表 6-39）；如有不同，应排除不同因素造成的视觉、触觉上的差异，使其不影响比较检测的结果。必要时，可从同一批加工的零件中，选择一个经仪器检测确认表面粗糙度合格的零件，作为该批零件比较检验的标准样件。比较检测法的适用范围如下：

1）肉眼直接观察比较。适用于表面粗糙度值 $Ra > 3.2\mu m$ 的被测表面。

表 6-37 尺寸≤500mm 的孔的表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系

<table>
<tr><th rowspan="5">公称尺寸
/mm</th><th colspan="16">精 度 等 级</th></tr>
<tr><th>6</th><th colspan="5">7</th><th>8</th><th colspan="3">9</th><th>10</th><th>11</th><th>12,13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th></tr>
<tr><th colspan="16">配 合</th></tr>
<tr><th>H6,N6,
G6,M6,
K6,J6,
Js6</th><th>U7,S7</th><th>H7,R7,
R8,S7,
N7,M7
K7,J7,
G7</th><th>F8</th><th>E8,E9</th><th>D8,D9</th><th>H8,N8,
M8,K8,
J8</th><th>H8,H9</th><th>F9</th><th>D9,D10</th><th>H10</th><th>H11,D11,
B11,C11,
A11</th><th>H12,H13</th><th>H14</th><th>H15</th><th>H16</th></tr>
<tr><th colspan="16">表 面 粗 糙 度/μm</th></tr>
<tr><td>≥1~3</td><td rowspan="3">Ra0.32</td><td>Ra0.63</td><td rowspan="3">Ra0.63</td><td>Ra0.63</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="3">Ra1.25</td><td>Ra0.63</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="2">Ra1.25</td><td>Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra5</td><td rowspan="3">Ra10</td><td rowspan="5">Ra20</td><td rowspan="2">Ra20</td></tr>
<tr><td>>3~6</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="5">Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra2.5</td></tr>
<tr><td>>6~10</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra40</td></tr>
<tr><td>>10~18</td><td rowspan="5">Ra0.63</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="5">Ra5</td><td rowspan="4">Ra10</td><td rowspan="5">Ra20</td></tr>
<tr><td>>18~30</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td></tr>
<tr><td>>30~50</td><td rowspan="7">Ra2.5</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="3">Ra40</td><td rowspan="7">Ra80</td></tr>
<tr><td>>50~80</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td></tr>
<tr><td>>80~120</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="5">Ra20</td></tr>
<tr><td>>120~180</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="4">Ra10</td><td rowspan="4">Ra10</td><td rowspan="4">Ra40</td><td rowspan="4">Ra80</td></tr>
<tr><td>>180~260</td><td rowspan="3">Ra5</td><td rowspan="3">Ra10</td></tr>
<tr><td>>260~360</td><td rowspan="2">Ra5</td><td rowspan="2">Ra10</td></tr>
<tr><td>>360~500</td><td>Ra5</td></tr>
</table>

表 6-38　尺寸≤500mm 的轴的表面粗糙度与加工精度和配合之间的关系

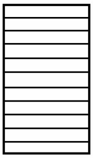
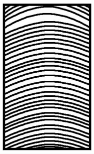
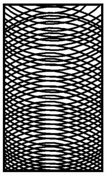
<table>
<tr><td rowspan="5">公称尺寸
/mm</td><td colspan="16">精　度　等　级</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="5">6</td><td>7</td><td colspan="3">9</td><td>10</td><td>11</td><td>12,13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="16">配　　合</td></tr>
<tr><td>h5,s5,
r5,n5,
m5,k5,
j5,g5,
f5</td><td>s7,u5,
u6</td><td>h6,r6,
s6,n6,
m6,k6,
js6,g6</td><td>f7</td><td>e8</td><td>d8</td><td>h7,n7,
m7,k7,
j7,js7</td><td>h8,h9</td><td>9</td><td>d9,d10</td><td>h10</td><td>h11</td><td>h12,h13</td><td>h14</td><td>h15</td><td>h16</td></tr>
<tr><td colspan="16">表　面　粗　糙　度/μm</td></tr>
<tr><td>≥1～3</td><td>Ra0.16
Ra0.32</td><td rowspan="3">Ra0.63</td><td rowspan="3">Ra0.32</td><td rowspan="3">Ra0.63</td><td>Ra0.63</td><td rowspan="5">Ra1.25</td><td>Ra0.32</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="2">Ra1.25</td><td>Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra5</td><td rowspan="3">Ra10</td><td rowspan="5">Ra20</td><td rowspan="2">Ra20</td></tr>
<tr><td>>3～6</td><td rowspan="4">Ra0.32</td><td rowspan="5">Ra1.25</td><td rowspan="3">Ra0.63</td><td rowspan="4">Ra2.5</td></tr>
<tr><td>>6～10</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="2">Ra40</td></tr>
<tr><td>>10～18</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra0.63</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="5">Ra5</td><td rowspan="4">Ra10</td><td rowspan="6">Ra20</td></tr>
<tr><td>>18～30</td><td rowspan="4">Ra1.25</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="8">Ra80</td></tr>
<tr><td>>30～50</td><td rowspan="4">Ra0.63</td><td rowspan="2">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="4">Ra40</td></tr>
<tr><td>>50～80</td><td>Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td></tr>
<tr><td>>80～120</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="3">Ra1.25</td><td rowspan="5">—</td><td rowspan="5">Ra2.5</td><td rowspan="5">—</td><td rowspan="5">Ra20</td></tr>
<tr><td>>120～180</td><td rowspan="4">Ra2.5</td><td rowspan="4">Ra5</td><td rowspan="4">Ra10</td><td rowspan="4">Ra10</td></tr>
<tr><td>>180～260</td><td rowspan="3">Ra1.25</td><td rowspan="3">Ra10</td><td rowspan="3">Ra40</td><td rowspan="3">Ra80</td></tr>
<tr><td>>260～360</td><td rowspan="2">Ra2.5</td><td rowspan="2">Ra10</td></tr>
<tr><td>>360～500</td></tr>
</table>

2）用放大目镜比较。适用于表面粗糙度值 Ra 为 0.40 ~ 1.60μm 的被测表面。

3）用比较显微镜目测比较。适用于表面粗糙度 $Ra<0.40\mu m$ 的被测表面。

4）触觉比较。适用于表面粗糙度值 Ra 为 0.80 ~ 6.3μm 的被测表面。

表 6-39 比较样块

纹理形式	样块加工方法	样块表面形式	表面粗糙度 Ra/μm	表面纹理特征图
直纹理	圆周磨削	平面 圆柱凸面	0.025 0.05 0.1 0.2 0.4 0.8 1.6 3.2	
	车	圆柱凸面	0.4 0.8 1.6 3.2 6.3 12.5	
	镗	圆柱凹面		
	平铣	平面	0.4 0.8 1.6 3.2 6.3 12.5	
	插	平面	0.8 1.6 3.2 6.3 12.5 25	
	刨	平面		
弓形纹理	面铣 面车	平面 平面	0.4 0.8 1.6 3.2 6.3 12.5	
交叉式弓形纹理	面铣	平面	0.4 0.8 1.6 3.2 6.3 12.5	
	面磨	平面	0.025 0.05 0.1 0.2 0.4 0.8 1.6 3.2	

（2）针描法 针描法又称触针法，是一种接触测量表面粗糙度的方法。电动轮廓仪（参见图4-32及其说明）就是用针描法来测量表面粗糙度的。测量时，将传感器（见图6-10）端部的金刚石触针搭在工件上，与被测表面垂直接触，利用驱动器以一定的速度拖动传感器，使触针在被测表面上轻轻划过。由于被测表面粗糙不平，迫使触针在垂直于被测表面的方向上产生上下移动，通过传感器转换为电信号，经放大处理后，可在指示表上直接读出 Ra 值。电动轮廓仪适于测量 0.025 ~ 5μm 的 Ra 值。

针描法操作方便、测量迅速、测量精度高，并能直接读出参数值 Ra 和给出被测表面的轮廓图形，故获得了广泛的应用。但触针与被测工件表面接触时会留下划痕，这对某些重要表面是不允许的。此外，因受触针圆弧半径大小（可小至1 ~ 2mm）的限制，不能测量表面粗糙度值很小的表面，否则会产生大的测量误差。

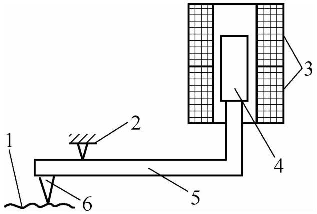


图 6-10 传感器

1—被测表面 2—支点 3—电感线圈
4—铁心 5—测杆 6—触针

（3）印模法 印模法是一种非接触式间接测量表面粗糙度的方法。它是利用某些塑性材料制成块状印模，将印模贴在被测零件表面上，使零件的表面轮廓印在印模上，然后对印

模进行测量，得出表面粗糙度参数值。

印模法适用于难以用仪器直接测量和样块比较的表面（如深孔、盲孔、内螺纹、凹槽等）以及大型零件表面粗糙度的测量。由于印模材料不能完全充满微小不平度的谷底，故测得的印模表面粗糙度参数值比零件实际的参数值要小。因此，对印模得出的表面粗糙度测量结果要进行修正（通常是凭经验修正）。

（4）光切法和干涉法简介　光切法是利用光切原理测量零件表面粗糙度的方法，常用仪器是光切显微镜（又称双管显微镜）。光切法适用于测量车、铣、刨等加工方法加工的金属零件平面或外圆表面。光切法主要用于测量 *Rz* 值，测量范围一般为 0.5 ~60μm。

干涉法是利用光波干涉原理测量表面粗糙度的一种方法，使用的仪器是干涉显微镜。干涉法通常是用于测量极光滑表面的 *Rz* 值，测量范围为 0.025 ~0.8μm。

第 7 章　零件铣削工艺

7.1　机械加工工艺过程

机械加工工艺过程是指用机械加工方法逐步改变毛坯的形状、尺寸和表面质量，使其成为合格零件的过程。

7.1.1　机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程的基本单元是工序。一个零件的机械加工工艺过程是由一系列的工序组成的，毛坯依次通过这些工序而变为成品零件。每道工序又由安装、工位、工步及走刀组成。

（1）工序　工序是指一个（或一组）工人在一台（或一组）机床上的对同一个（同时对几个）工件连续完成的那一部分工艺过程。

（2）安装　安装是指工件在一次装夹后所完成的那一部分工序。在一个工序中，有的工件只需装夹一次，也有需要多次装夹的，但从减少安装误差和装夹工时的角度考虑，应尽可能减少装夹次数。

（3）工位　当应用转位或移位加工机床（或夹具）加工工件时，在一次装夹中，工件（或刀具）要在几个位置上依次进行加工，在每一个位置上完成的那一部分工序称为工位。图 7-1 所示为加工叶片泵转子叶片槽的卧轴分度铣床夹具。转子上有 12 个叶片槽，在卧式铣床上用两把三面刃盘铣刀同时加工两个（或两组）工件。工件以花键孔及端面定位夹紧于花键心轴上，然后将花键心轴连同鸡心夹头安装于分度头前、后顶尖间，将鸡心夹头弯柄插在主轴 6 缺口槽内，带动工件一同回转分度，气动分度装置装在头架体内。铣完一条叶片槽后，依次进行分度，直至铣完 12 条叶片槽。其分度方法如下：

分度盘 3 沿径向开有若干个分度槽，在其背面相应凸出有端面齿。分度时，气缸右腔进气，活塞 9 带动推杆 10 左移，由于推杆上的齿条与两个分度凸轮 2 上的轮齿啮合，因此使空套在主轴 6 上的两个分度凸轮同时顺时针回转，将两个对定销 11 从分度盘 3 中顶出。当分度凸轮转至最大曲率半径（圆弧段）时，其上的棘爪 5 拨动分度盘 3 转过一个角度，实现工件分度。然后操纵配气阀，使气缸左端进气，推杆右移、分度凸轮逆时针转动。当转到最小曲率半径时，压块 4 在弹簧作用下，将对定销插入分度盘的分度槽中，棘爪 5 重新落入分度盘背面的斜面槽内，为下一次分度作准备。本夹具利用转位方法完成转子上 12 条叶片槽的铣削加工，并可同时加工两个或多个工件，结构简单，操作方便，适用于批量较大的生产。此外，图 3-65、图 3-69 都是多工位铣削的实例。

（4）工步　工步是指在加工表面、切削刀具和切削用量（仅指切削速度和进给量）都不变的情况下，完成的那一部分加工，变化其中一个就是另一个工步。例如在铣削键槽时，如采用先粗铣再精铣，虽然加工表面未变，但由于更换了键槽铣刀、减小了进给量，可能还改变了切削速度，因此键槽的粗铣和精铣，则为两个工步。为了提高生产率，常将几个工步合并成一个复合工步。复合工步的特点是用几把刀具同时加工几个表面。图 7-2 所示为用两把铣刀组合铣削工件的平行面，属于复合工步。

（5）走刀　在一个工步中，如果要切除的余量较大，需要分几次切削，每切削一次称为一次走刀。例如在轴上铣削封闭键槽时，如键槽的精度要求较高时，可用键槽铣刀进行分层铣削，即通过多次走刀完成键槽的加工（见图 7-3）。

7.1.2　生产纲领与生产类型

（1）生产纲领　生产纲领是指企业在计划期（通常为一年）内生产产品的数量和进度计划，并根据各车间的情况按一定期限分批投产。每批投产的数量称为生产批量。

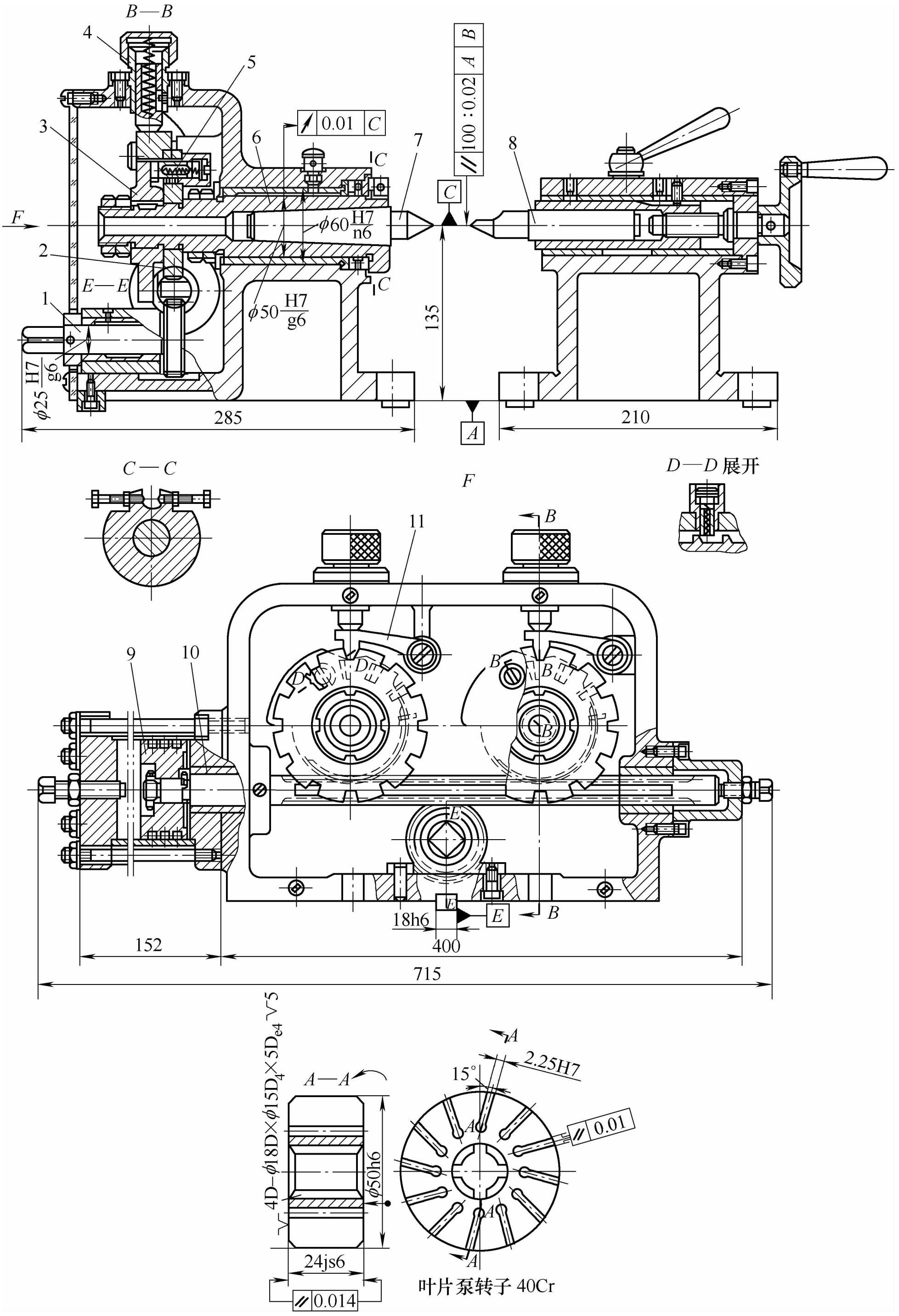


图 7-1 加工叶片泵转子叶片槽的卧轴分度铣床夹具

1—齿轮轴 2—分度凸轮 3—分度盘 4—压块 5—棘爪 6—主轴 7—顶尖 8—后顶尖 9—活塞 10—推杆 11—对定销

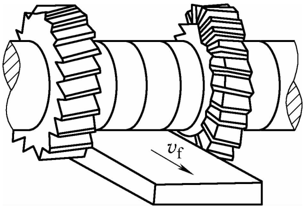


图 7-2 用两把铣刀组合铣削工件的平行面

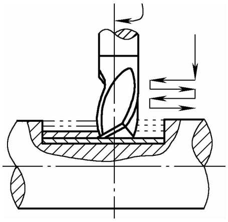


图 7-3 用分层铣削法铣键槽

（2）生产类型 生产类型是指企业（或车间、工段、班组、工作地）生产专业化程度的分类，一般分为大量生产、成批生产和单件生产三种类型。

1）大量生产。产品的数量很大，大多数工作地长期进行某一零件的某一道工序的加工，如汽车、轴承、自行车等的制造多属于大量生产。

2）成批生产。成批生产的主要特征是工作地的加工对象。周期性地进行轮换。普通机床、纺织机械的制造多属于成批生产。成批生产又可分为大批生产、中批生产和小批生产三种类型。

3）单件生产。单件生产的特点是产品的种类多而同一产品的产量很小，因此工作地的加工对象完全不重复或很少重复。重型机器、专用设备或新产品的试制都属于单件生产。

生产类型的划分主要取决于生产纲领（年产量），但同时也要考虑产品本身的大小和结构的复杂程度。必须指出：不同生产类型零件的加工工艺、工艺装备、毛坯的制造方法、对工人的技术要求以及加工成本等都有明显的不同，表 7-1 所示为生产类型与生产纲领的关系，表 7-2 所示为各种生产类型的工艺特点。

表 7-1 生产类型与生产纲领的关系

生产类型	生产纲领/（件/年）		
	重型机械	中型机械	小型机械
单件生产	<5	<10	<100
小批生产	5～100	10～200	100～500
中批生产	100～300	200～500	500～5000
大批生产	300～1000	500～5000	5000～50000
大量生产	>1000	>5000	>50000

表 7-2 各种生产类型的工艺特点

生产类型 / 工艺特点	单件生产	成批生产	大量生产
加工对象	经常变换	周期性变换	固定不变
毛坯特点	木模造型或自由锻，毛坯精度低，余量大	金属模型或模锻，毛坯精度及加工余量中等	广泛采用模锻或金属模机器造型，毛坯精度高，余量小
机床设备	采用通用设备及数控机床	通用机床及部分专用机床	专用机床、自动机床及自动线
机床布局	按机群式布置	按零件类别分工段排列	按流水线排列
夹具	通用夹具或组合夹具	广泛采用专用夹具	采用高效率的专用夹具
刀具量具	通用刀具与万能量具	专用或通用刀具、量具	专用刀具、量具，自动测量
装配方法	零件不互换	多数互换，部分试装或修配	全部互换或分组互换

（续）

工艺特点 \ 生产类型	单件生产	成批生产	大量生产
生产周期	不确定	周期重复	长时间连续生产
生产率	低，用数控机床可改善	中等	高
成本	高	中等	低
技术等级	要求技术水平高的工人	要求中等熟练程度的工人	操作工人要求一般
工艺文件	只编制简单工艺过程卡	比较详细	详细编制各种工艺文件

7.1.3 制订机械加工工艺过程的原则和内容

制订机械加工工艺过程的基本原则是保证产品质量、获得高的生产率和最佳的经济效益，并做到安全生产。在了解生产批量和毛坯及其制造方法的基础上，制订机械加工工艺过程的主要工作内容如下：

1）分析零件的结构工艺性和各项技术要求。

2）拟订工艺过程，主要包括选择定位基准、选择零件各表面的加工方法、划分加工阶段、安排工序顺序（包括热处理工序）等。

3）进行工序设计，主要包括确定加工余量和切削用量、选择工艺装备以及进行必要的工艺计算等。

7.1.4 零件加工工艺性分析

在制订零件机械加工工艺过程之前，首先应对零件图进行工艺分析，主要包括零件的技术要求和结构工艺性两个方面的内容，以便从加工制造的角度出发审查零件图是否完整、正确，技术要求是否合适，零件的结构工艺性是否良好。必要时，可向设计部门提出修改建议。

（1）零件技术要求的分析　零件的技术要求主要有以下几个方面：

1）加工表面的尺寸精度。

2）加工表面的几何精度。

3）各加工表面之间的相互位置精度。

4）加工表面粗糙度以及表面质量方面的其他要求。

5）热处理、探伤以及平衡等其他要求。

上述内容的分析，一是分析零件图上的各项技术要求是否合理，在现有的生产条件下能否达到，找出主要技术要求和关键的技术问题，以便采取适当的工艺措施；二是通过分析技术要求，初步确定达到这些要求应选用的最终加工方法和中间工序的加工方法，大致确定工件的加工顺序等。

（2）零件结构工艺性的分析　零件的结构工艺性是指零件在能满足使用要求的前提下，制造的可行性和经济性，即零件的结构是否符合工艺方面的要求，是否能在保证产品使用性能的前提下，用生产率高、劳动量少、材料消耗省和生产成本低的方法制造出来。为了改善零件机械加工的工艺性，通常要遵守的基本原则如下：

1）应尽量采用标准化参数。对于孔径、螺距、模数、锥度等，采用标准化参数，有利于采用标准刀具和量具，以减少专用刀具和量具的设计与制造。零件上的结构要素应尽可能统一，以减少刀具和量具的种类，减少换刀次数。

2）要保证加工的可能性和方便性，加工面应有利于刀具的进入和退出。

3）加工表面形状应尽可能简单，以便于加工；并尽可能布置在同一表面或同一轴线上，以减少工件装夹、刀具调整及走刀次数，有利于提高加工效率。

4）零件的结构应便于装夹，并有利于增强工件或刀具的刚度。

5）有相互位置精度要求的有关表面，应尽可能在一次装夹中加工。因此，要求有合适的定位基准面。

6）应尽可能减轻零件的重量，减少加工表面面积，并尽量减少内表面的加工。

7）在满足零件使用性能的条件下，零件的尺寸、形状、相互位置精度与表面粗糙度的

要求应经济合理。

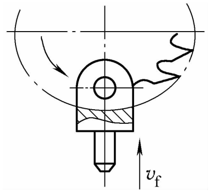
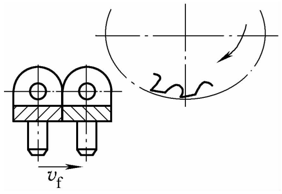
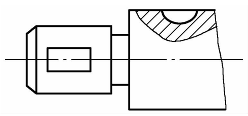
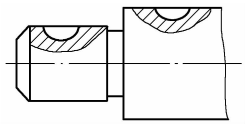
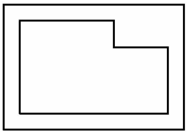
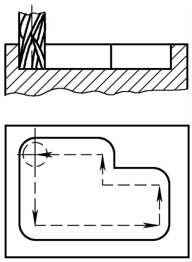
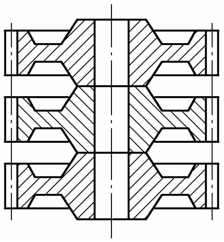
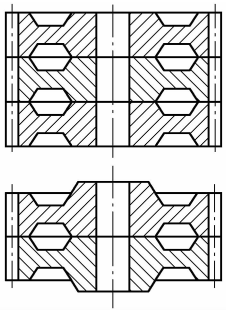
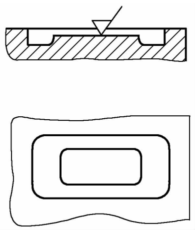
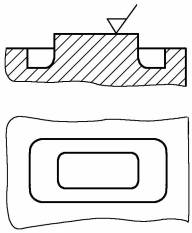
8）零件尺寸的标注应考虑设计基准的正确选择，使零件加工时尽可能符合基准重合原则，使加工、测量方便。

9）合理地采用零件组合，以便于零件的加工。

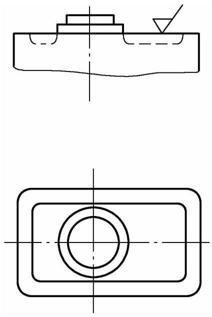
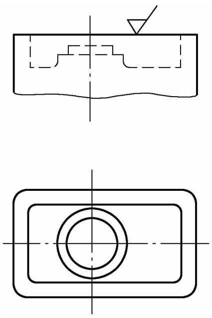
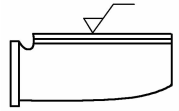
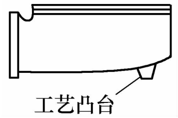
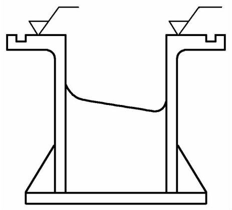
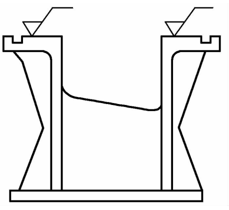
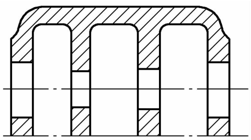
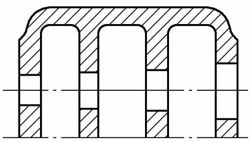
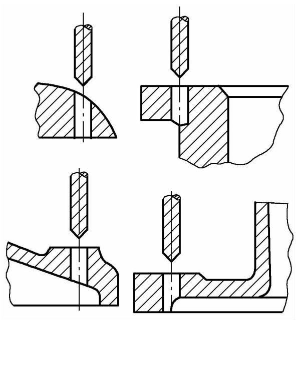
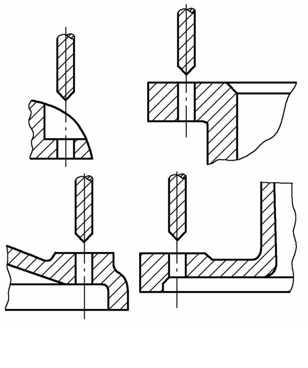
10）零件的结构应与先进的加工工艺相适应，并尽可能有利于提高生产率。

表 7-3 所示为铣床上加工零件的结构工艺性对比示例。

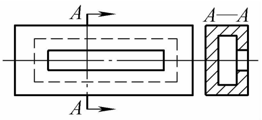
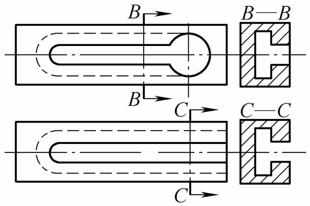
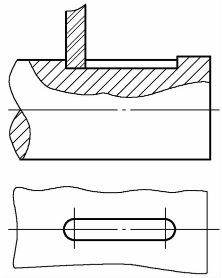
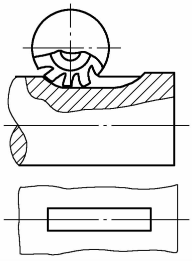
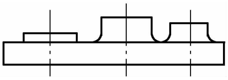
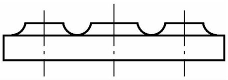
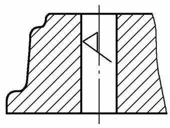
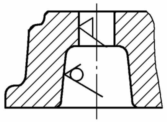
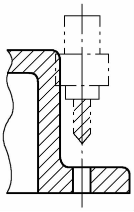
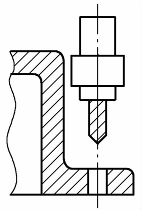
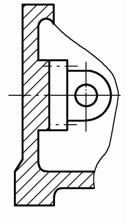
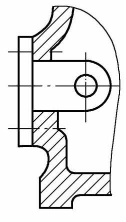
表 7-3　铣床上加工零件的结构工艺性对比示例

序号	结构工艺性不好	结构工艺性好	说　　明
1			拨叉的沟槽底部若设计成圆弧形，只能单个加工；若改为平面，则可多件一起加工
2			键槽的方位、尺寸相同，一次装夹便可加工出全部键槽
3			加工表面的结构形状尽量与刀具结构形状相同
4			齿轮的齿毂和轮缘不等高，多件加工时刚性差，且行程长
5			避免把加工面布置在低凹处，改进后可采用高效率的加工方法

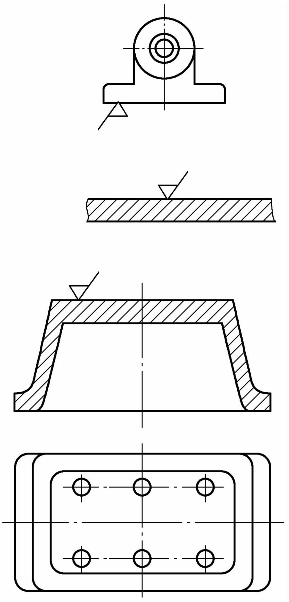
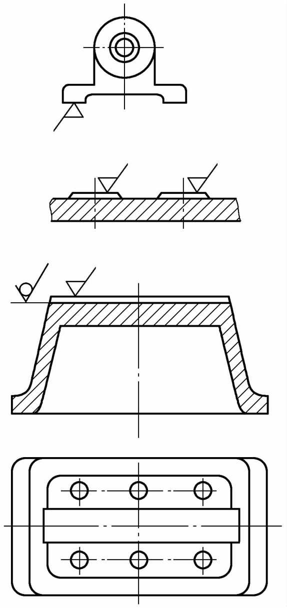
（续）

序号	结构工艺性不好	结构工艺性好	说　　明
6			避免在加工面中间设置凸台，改进后可采用高效率的加工方法
7			为便于工件装夹，可增设工艺凸台，精加工后再将其切除
8			增设加强肋，以提高工件刚性
9			可减少安装次数和便于加工，有利于提高生产率和保证孔的位置精度
10			应考虑刀具能正常地进刀和退刀，尽可能避免在斜面上钻孔和钻不完整孔，以防止刀具损坏和提高加工精度

（续）

序号	结构工艺性不好	结构工艺性好	说　　明
11			零件结构要便于刀具的引入和退出
12			避免用立铣刀加工封闭槽，以改善切削条件，尤其是切入时的切削条件
13			凸台设计成等高，可在一次走刀中加工所有凸台面，节省辅助时间
14			避免加工深孔，使刀具具有良好的工作条件
15			孔与壁的距离太近，不便引进刀具
16	 a)	 b)	箱体类零件的外表面比内表面容易加工，应以外表面连接表面代替内表面连接表面

（续）

序号	结构工艺性不好	结构工艺性好	说　明
17			将较大的支承表面挖空、将加工面铸出凸台、保留加工表面的必要长度，以减少加工面、提高效率、保证精度

7.1.5 机械加工工艺路线的制订

1. 表面加工方法的选择

选择表面加工方法，主要应考虑各表面加工的技术要求、工件材料的可加工性及热处理的要求，工件的结构形状与尺寸大小，生产类型、工厂现有的设备条件以及每种加工方法的加工经济精度的范围等，综合分析，适当选择。在正常的生产条件下，能较经济地达到的精度范围称为该加工方法的经济精度。

平面和孔加工方案的经济精度和表面粗糙度见表 7-4、表 7-5。

在各表面的加工方法选定以后，需要进一步确定这些加工方法在零件加工工艺路线中的顺序及位置，这与加工阶段的划分有关。

2. 加工阶段的划分

表 7-4　平面加工方案的经济精度和表面粗糙度

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	粗车	IT10～11	12.5～6.3	未淬硬钢、铸铁、有色金属端面加工
2	粗车—半精车	IT8～9	6.3～3.2	
3	粗车—半精车—精车	IT6～8	1.6～0.8	
4	粗车—半粗车—磨削	IT7～9	0.8～0.2	钢、铸铁端面加工
5	粗刨(粗铣)	IT11～13	12.5～6.3	不淬硬的平面加工
6	粗刨(粗铣)—半精刨(半精铣)	IT8～11	12.5～3.2	
7	粗刨(粗铣)—精刨(精铣)	IT7～9	6.3～1.6	
8	粗刨(粗铣)—半精刨(半精铣)—精刨(精铣)	IT6～8	3.2～0.63	
9	粗铣→拉	IT6～9	0.8～0.2	大量生产未淬硬的小平面(精度视拉刀精度而定)

（续）

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度值 Ra/μm	适用范围
10	粗刨（粗铣）—半精刨（半精铣）—宽刃刀精刨	IT6～7	0.8～0.2	未淬硬的钢、铸铁及有色金属工件
11	粗刨（粗铣）—半精刨（半精铣）—精刨（精铣）—宽刃刀低速精刨	IT5	0.8～0.16	
12	粗刨（粗铣）—精刨（粗铣）—刮研	IT5～6	0.8～0.1	精度要求较高的未淬硬平面
13	粗刨（粗铣）—半精刨（半精铣）—精刨（精铣）—刮研	IT5～6	0.8～0.04	精度要求高的未淬硬平面
14	粗刨（粗铣）—精刨（精铣）—磨削	IT6～7	0.8～0.2	淬硬或未淬硬的黑色金属工件
15	粗刨（粗铣）—半精刨（半精铣）—精刨（精铣）—磨削	IT5～6	0.4～0.2	
16	粗铣—精铣—磨削—研磨	IT5～6	0.16～0.008	

表7-5　孔加工方案的经济精度和表面粗糙度

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度值 Ra/μm	适用范围
1	钻	IT11～12	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯，也可用于加工孔径为15～20mm的有色金属
2	钻—铰	IT8～9	3.2～1.6	
3	钻—粗铰—精铰	IT7～8	1.6～0.8	
4	钻—扩	IT10～11	12.5～6.3	同上，但孔径为＞15～20mm
5	钻—扩—粗铰——精铰	IT7	1.6～0.8	
6	钻—扩—铰	IT6～9	3.2～0.32	
7	钻—扩—机铰—手铰	IT5	1.25～0.08	
8	钻—（扩）—拉	IT7～9	1.6～0.1	大批量生产中小零件的通孔（精度由拉刀精度而定）
9	粗镗（或扩孔）	IT11～12	12.5～6.3	除淬 火钢外的各种材料，毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗（精扩）—半精镗（精扩）	IT8～9	3.2～1.6	
11	粗镗（精扩）—半精镗（精扩）—精镗（铰）	IT7～8	1.6～0.8	
12	粗镗（扩）—半精镗（精扩）—精镗—浮动镗刀块精镗	IT6～7	0.8～0.4	
13	精镗（扩）—半精镗—磨孔	IT7～8	0.8～0.2	主要用于加工淬火钢，也可用于未淬火钢，但不宜用于有色金属
14	粗镗（扩）—半精镗—粗磨—精磨	IT6～7	0.2～0.1	
15	粗镗—半精镗—精镗—金刚镗	IT5～7	0.4～0.05	主要用于精度要求高的有色金属加工
16	钻—（扩）—粗铰—精铰—珩磨	IT5～7	0.2～0.025	黑色金属
17	钻—（扩）—拉—珩磨			
18	粗镗—半精镗—精镗—珩磨			
19	以研磨代替上述方案中的珩磨	IT6级以上	＜0.1	

制订工艺路线时，往往要把加工质量要求较高的主要表面的工艺过程，按粗精分开的原则划分为几个阶段，其他加工表面的工艺过程根据同一原则作相应的划分，并分别安排到由主要表面所确定的各个加工阶段中去，这样就可得到由各个加工阶段所组成的、包含零件全部加工内容的整个零件的加工工艺过程。一个零件加工工艺过程通常可以划分为以下几个阶段：

1）粗加工阶段。此阶段的主要任务是切除各加工表面上的大部分余量，并加工出精基准。粗加工所能达到的精度较低（一般在IT12级以下）、表面粗糙度值较大（$Ra50 \sim 12.5\mu m$），其主要任务是设法获得较高的生产率。

2）半精加工阶段。此阶段的主要目的是使主要表面消除粗加工后留下的误差，使其达到一定的精度，为精加工作好准备，并完成一些次要表面的加工（如钻孔、攻螺纹、铣键槽等）。表面经半精加工后，精度可达IT10～IT12级，表面粗糙度值则为$Ra6.3 \sim 3.2\mu m$。

3）精加工阶段。此阶段的任务是保证各主要加工表面达到图样所规定的质量要求。精加工切除的余量很少，表面经精加工后，可以达到较高的尺寸精度（IT6～IT9级）和较小的表面粗糙度值（$Ra1.6 \sim 0.4\mu m$）。

4）光整加工阶段。对于精度要求很高（IT5级以上）、表面粗糙度值要求很小（$Ra0.2\mu m$以下）的零件，必须有光整加工阶段。光整加工的典型方法有珩磨、研磨、超精加工及镜面磨削等。这些加工方法不但能降低表面粗糙度值，而且能提高尺寸精度和形状精度，但多数都不能提高位置精度。

划分加工阶段的必要性在于：

1）保证加工质量。由于粗加工阶段切除的金属较多，产生的切削力和切削热也较大，同时也需要较大的夹紧力，而且粗加工后内应力会重新分布，在这些力的作用下，工件会产生较大的变形。如果对要求较高的加工表面一开始就精加工到所要求的精度，那么其他表面粗加工所产生的变形就可能破坏已获得的加工精度。因此，划分加工阶段，通过半精加工和精加工可使粗加工引起的误差得到纠正。

2）合理地使用机床设备。粗、精加工分开，粗加工使用大功率机床，可充分发挥机床的效能；精加工使用精密机床，既可以保证零件的精度要求，又有利于长期保持机床的精度，达到合理地使用机床设备。

3）粗、精加工分开，便于及时发现毛坯的缺陷（如气孔、砂眼等），及时修补或报废，避免工时浪费。

4）表面光整加工安排在最后，可避免或减少在夹紧和运输过程中损伤已精加工过的表面。

应当指出，将工艺过程划分成几个阶段是对整个加工过程而言的，不能简单地以某一工序的性质或某一表面的加工特点来决定。例如工件的定位基准，在半精加工阶段（甚至在粗加工阶段）中就需要加工得很准确；而某些钻小孔、攻螺纹之类的粗加工工序，也可安排在精加工阶段进行。同时，加工阶段的划分不是绝对的，对于毛坯精度较高、余量较小或刚性较好、加工精度要求不高的工件，就不必划分加工阶段；重型零件由于运输、装卸不便，常在一次装夹中完成某些表面的粗、精加工，但在粗加工后要松开工件，再用较小的夹紧力夹紧工件，然后再精加工。在组合机床和自动机床上加工零件，也常常不划分加工阶段。

3. 工序的集中与分散

选定了加工方法和划分加工阶段之后，就要确定工序的数目，即工序的集中与分散问题。

如果在每道工序中所安排的加工内容多，则一个零件的加工将集中在少数几道工序里完成，这时工艺路线短、工序少，故称为工序集中；若在每道工序中所安排的加工内容少，则一个零件的加工就分散在很多工序里完成，这时工艺路线长、工序多，故称为工序分散。

（1）工序集中的特点　工序集中有以下特点：

1）采用高效率专用设备和工艺装备，可提高生产率、减少机床数量和工件在机床之间的搬运工作量以及生产面积。

2）减少了工件的装夹次数。工件在一次装夹中可加工多个表面，有利于保证这些表面之间的相互位置精度。减少装夹次数，也可减

少装夹所造成的工时消耗。

3）减少工序数目，缩短了工艺路线，也简化了生产计划和组织工作。

4）专用设备和工艺装备较复杂，生产准备周期长，更换产品较困难。

（2）工序分散的特点 工序分散的特点如下：

1）设备和工艺装备比较简单，调整比较容易。

2）工艺路线长，设备和工人数量多，生产占地面积大。

3）可采用最合理的切削用量，减少基本时间。

4）容易变换产品。

在拟定工艺路线时，工序集中或分散的程度主要取决于生产类型、零件的结构特点及技术要求。生产批量小时，多采用工序集中；生产批量大时，可采用工序集中，也可用工序分散。由于工序集中的优点较多，以及数控机床、柔性制造单元和柔性制造系统等的发展，现代生产多趋于工序集中。

4. 工序顺序的安排

（1）机械加工工序的安排 一个零件有许多表面要加工，各表面机械加工顺序的安排应遵循以下原则：

1）先基准面，后其他面。首先应加工用作精基准的表面，以便为其他表面的加工提供可靠的基准表面，这是确定加工顺序的一个重要原则。

2）先主要表面，后次要表面。零件的主要表面是加工精度和表面质量要求较高的面，它的工序较多，且加工的质量对零件质量的影响甚大，因此应先进行加工。一些次要表面如紧固用的螺孔、键槽等，可穿插在主要表面加工中间或加工之后进行。

3）先主要平面，后主要孔。具有平面轮廓尺寸较大的零件（如箱体），用平面定位比较稳定可靠，常用作主要精基准。因此，应先加工平面，后加工主要孔及其他表面，并易于保证孔与平面之间的位置精度。

4）先安排粗加工工序，后安排精加工工序。技术要求较高的零件，其主要表面应按照粗加工、半精加工、精加工、光整加工的顺序安排，使零件逐渐达到较高的加工质量。

（2）热处理工序的安排 热处理的目的在于改变工件材料的性能和消除内应力。热处理的目的不同，热处理工序的内容及其在工艺过程中所安排的位置也不一样。

1）预备热处理。安排在机械加工之前进行，其目的是为了改善工件材料的切削性能，消除毛坯制造时的内应力。常用的热处理方法有退火与正火，通常安排在粗加工之前；调质一般安排在粗加工以后进行。

2）最终热处理。通常安排在半精加工之后和磨削加工之前，目的是提高材料的强度、表面硬度和耐磨性。常用的热处理方法有调质、淬火、渗碳淬火等。有的零件为了获得更高的表面硬度和耐磨性、更高的疲劳强度，还常常采用氮化处理。由于氮化层较薄，所以氮化处理后的磨削余量不能太大，故一般安排在粗磨之后、精磨之前进行。为了消除内应力，减少氮化变形，改善加工性能，氮化前应对零件进行调质处理和去内应力处理。

3）时效处理。时效处理有人工时效和自然时效两种，目的都是为了消除毛坯制造和机械加工中产生的内应力。精度要求一般的铸件，只需进行一次时效处理，安排在粗加工后较好，可同时消除铸造和粗加工所产生的应力；有时为减少运输工作量，也可放在粗加工之前进行。精度要求较高的铸件，则应在半精加工之后安排第二次时效处理，使精度稳定。精度要求很高的精密丝杠、主轴等零件，则应安排多次时效处理。对于精密丝杠、精密轴承、精密量具及液压泵油嘴等，为了消除残余奥氏体，稳定尺寸，还要采用冰冷处理（冷却到 $-70 \sim -80$℃，保温 $1 \sim 2$h），一般在回火后进行。

4）表面处理。某些零件为了进一步提高表面的抗蚀能力，增加耐磨性以及使表面美观光泽，常采用表面处理工序，使零件表面覆盖一层金属镀层、非金属涂层和氧化膜等。金属镀层有镀铬、镀锌、镀镍、镀铜及镀金、银等；非金属涂层有涂油漆、磷化等；氧化膜层有钢的发蓝、发黑、钝化，铝合金的阳极氧化处理等。零件的表面处理工序一般都安排在工艺过程的最后进行。表面处理对工件表面本身

尺寸的改变一般可以不考虑，但精度要求很高的表面应考虑尺寸的增大量。当零件的某些配合表面不要求进行表面处理时，则应进行局部保护或用机械加工的方法予以切除。

（3）辅助工序和检验工序的安排　辅助工序安排不当或遗漏，会给后续工序和装配带来困难，影响产品质量，甚至使零件不能使用。辅助工序包括去毛刺、去磁和平衡等。

检验工序分为加工质量检验和特种检验。是工艺过程中不可缺少的工序，对保证产品质量、防止废品起着十分重要的作用。除各工序操作者的自检外，下列场合还应单独安排检验工序：粗加工结束后；送外车间加工前后；重要工序加工前后以及零件全部工序加工完后。

特种检验的种类很多，如用于检查工件内部质量的 X 射线、超声波检查，一般在工艺过程开始时进行；磁力探伤等用于工件表面质量的检查，通常安排在工艺过程的精加工阶段进行；密封性检验、工件的平衡及重要检验，一般都在工艺过程的最后进行。

5. 基准及其选择

（1）基准及其分类　基准是指零件上用来确定某些点、线、面位置的点、线、面。根据其功能的不同，基准分为设计基准和工艺基准。

1）设计基准。设计图样上采用的基准为设计基准。图 7-4 所示的为设计基准示例（定位块）。图中的 *F* 面是 *C* 面及 *E* 面尺寸的设计基准，也是两孔垂直度和 *C* 面平行度的设计基准；*A* 面为 *B* 面尺寸及平行度的设计基准。作为设计基准的点、线、面，在工件上不一定具体存在，例如表面的几何中心、对称线、对称面等。

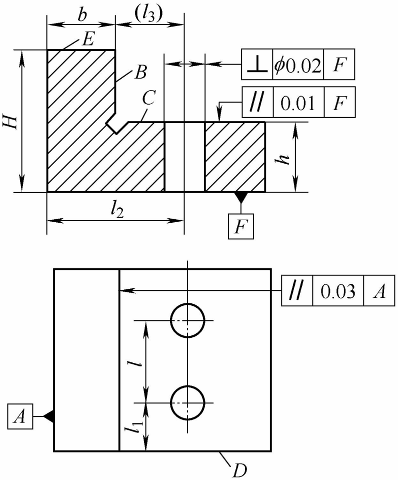


图 7-4　设计基准示例

（定位块）

2）工艺基准。工件在工艺过程中使用的基准称为工艺基准。机械加工工艺过程中，常用的工艺基准有工序基准、定位基准和测量基准。

①　工序基准。在工序图上用来确定被加工表面位置的基准称为工序基准，而标注被加工表面位置的尺寸称为工序尺寸。

图 7-5 所示为工件的工序基准。在图 7-5a 中，*A* 面为加工表面，本工序要求保证 *A* 面对母线 *B* 的距离尺寸 *h* 和平行度（平行度的要求包括在 *h* 的尺寸公差范围内），故母线 *B* 为本工序的工序基准。图 7-5b 中，*D* 孔为加工表面，*D* 孔对 *B* 面、*C* 面的距离尺寸分别为 l_1、l_2，而孔的中心线应与 *A* 面垂直，则本工序的工序基准为 *A*、*B*、*C* 三个表面。可见，工序基准的数目取决于本工序加工面与多少个面有具体位置要求以及加工表面的数目。图 7-5c 中，被加工的键槽两侧面的工序基准是轴的轴向对称面，即工序基准可以是工件上的实际表面，也可以是对称线、对称面及几何中心等。

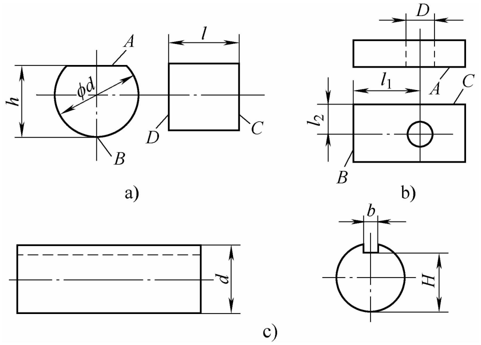


图 7-5　工件的工序基准

a）切口圆柱　b）带孔方块　c）键槽轴

②　定位基准。加工时用来确定工件在机床或夹具中正确位置的基准称为定位基准。如铣削图 7-5c 所示轴的直通槽时，这时工件的定位基准就是轴线和过轴线的铅垂直对称面（见图 7-6a），而体现这一定位基准的实际表

面是轴的外圆表面。由图7-6a可见，工件是装在V形块上来实现定位的。图7-6b所示为平面定位，工序尺寸为H_1，加工箱体的顶面，加工时工件以底面为定位基准。

工件上可以用作定位基准的表面有平面、圆孔、外圆柱面、圆锥孔、特形面及其组合的表面等（参见表3-7及3.2.4节）。

③　测量基准。零件检验时，测量已加工表面尺寸和位置时所用的基准称为测量基准。图7-7所示为检测被加工平面时所用的两种方案。由图可见，工序基准不同，选择的测量基准也不同。

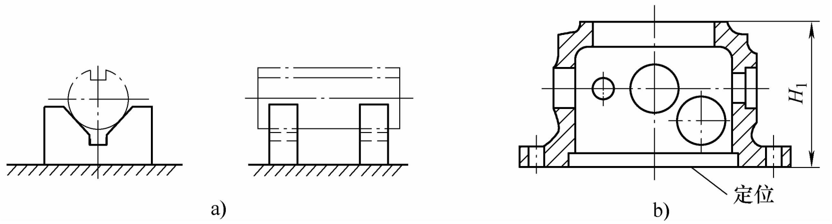


图7-6　工件的定位基准

a）V形槽定位　b）平面定位

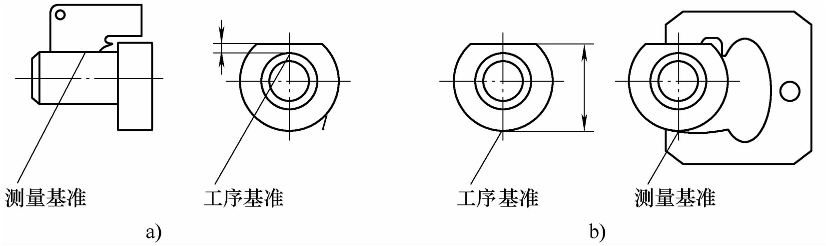


图7-7　检测被加工平面时所用的两种方案

a）方案一　b）方案二

（2）定位基准的选择　零件在机械加工工艺过程中，合理选择定位基准，对保证零件的尺寸精度和相互位置精度有着十分重要的作用。

毛坯在开始加工时，只能以未经加工的毛坯表面定位（或根据某毛坯表面找正），这种基准面称为粗基准；在以后的加工工序中，用加工过的表面作为定位基准，则为精基准。

1）粗基准的选择。选择粗基准，首先应选择能加工出精基准的毛坯表面作粗基准。此外，应能保证所有的加工表面都有足够的加工余量，零件上的不加工表面和加工表面之间有一定的相互位置精度。粗基准的选择原则如下：

①　选择重要表面为粗基准。如果工件必须保证某一重要表面的加工余量均匀，则应选择该重要表面为粗基准。例如床身导轨面的加工，由于导轨面是床身的重要表面，精度要求高，并且要耐磨，在铸造床身毛坯时，导轨面需向下放置，以便使导轨面表层金属组织细致均匀，没有气孔、夹渣等缺陷；加工时要求加工余量小而均匀，以便获得较高的加工精度，又可使切去的金属层较薄，留下组织紧密、耐磨的金属表层。应采用图7-8所示的用床身导轨面作粗基准的定位方法来进行加工，即先用导轨面作粗基准加工床脚平面，再以床脚平面作精基准加工导轨面，则可保证导轨面的加工余量小而均匀。此时，床脚平面上的加工余量可能不均匀，但不会影响床身的加工质量；反之，则会造成导轨面的加工余量不均匀，是不合理的。

②　选择不加工表面作粗基准。如果工件上有不加工表面，为了保证加工表面与不加工表面的相互位置要求，一般应选择不加工表面为粗基准。图7-9a所示的矩形工件，其中面1为不加工面，面2、3、4为需加工表面。如果用不加工的面1为粗基准，铣削面2，则面2可保证与面1有良好的位置关系（相互垂

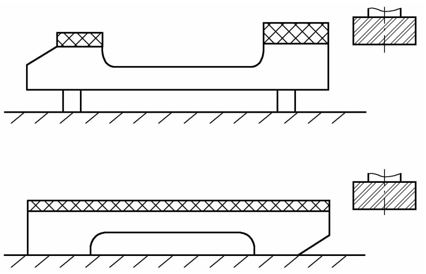


图 7-8　用床身导轨面作粗基准

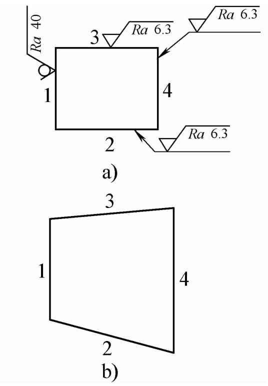


图 7-9　以不加工表面作为粗基准示例 1

a）矩形工件　b）毛坯图

直），再以面 2 为精基准加工面 3 和面 4，就能加工出如图中所示的矩形工件。反之，若不以不加工的面 1 作粗基准，而令需要加工的面 2 作粗基准，铣削面 3，然后必须用平整、光洁的面 3 作精基准来加工面 2 和面 4，这样定位、加工的结果，是面 1 和面 2 存在的相互位置误差到工件加工结束都没有得到改善，因此是不妥当的。应该以不加工的面 1 作粗基准。又如图7-10所示的工件，若以不加工的外圆柱面作粗基准，则加工出的各表面与外圆柱面有较好的同轴度和垂直度，各部分壁厚比较均匀。当工件上有多个不加工表面时，则应选择与加工表面相互位置要求最高的不加工面作为粗基准。

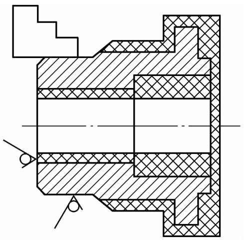


图 7-10　以不加工表面作粗基准示例 2

③　选择余量最小的表面作粗基准。在没有要求保证重要表面加工余量均匀的情况下，若零件上的所有表面都要加工，则应以加工余量最小的表面为粗基准。例如加工图 7-11 所示的六角四方台阶工件，由于四方对边的尺寸为 $22_{-0.10}^{\ 0}$mm，加工余量比较小，而毛坯在锻造时，ϕ32mm 与 ϕ46mm 两圆柱的同轴度偏差可能较大，此时若以直径 ϕ46mm 的圆柱面作粗基准先铣四方，而四方对角线的余量只有 1mm，当毛坯两外圆的同轴度偏差大于 0.5mm 时，就铣不出四面宽度都是 $22_{-0.10}^{\ 0}$mm 的四方。相反，若以直径为 ϕ32mm 的圆柱面作粗基准先铣六角，而六角对角线的余量有 4.5mm，只要两外圆的同轴度误差在 2.25mm 以内，就能加工出合格的六角，然后再以铣好的六角作精基准来铣削 $22_{-0.10}^{\ 0}$mm 的四方。由于铣削六角是以 ϕ32mm 圆柱面作基准，铣出的六角必定与 ϕ32mm 的圆柱面同轴，因此，

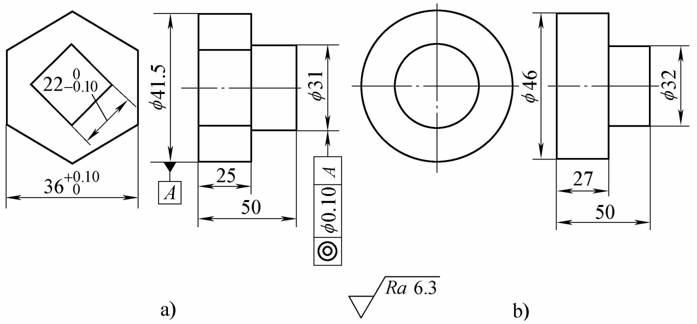


图 7-11　六角四方台阶工件

a）工件图样　b）工件毛坯图样

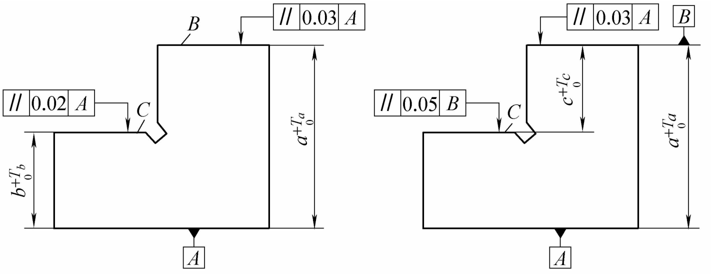
在 ϕ32mm 圆柱面上铣削四方时，就不会因为毛坯位置不准而铣不出合乎尺寸要求的四方。

④　粗基准虽然是毛坯表面，但选用的粗基准仍应尽可能平整、光洁，不应有飞边、毛刺、浇口、冒口及其他缺陷，以减少定位误差，增加零件装夹的可靠性。

⑤　粗基准由于是毛坯表面，一般情况下只在第一道加工工序中使用一次，不再重复使用。因为粗基准表面粗糙、精度差，如重复使用，在第二次装夹时，即使装夹条件相同，也难以使工件准确地处于原来的位置，必然会产生较大的定位误差，故应尽量避免重复使用。如果工件的精度要求不高，而毛坯是精密铸件或精密锻件时，则可以考虑重复使用某一粗基准。

2）精基准的选择。选择精基准，首先是要考虑如何保证零件的加工精度，特别是加工表面间的相互位置精度，同时也要兼顾装夹方便、可靠和简化夹具结构等方面。选择精基准的基本原则如下：

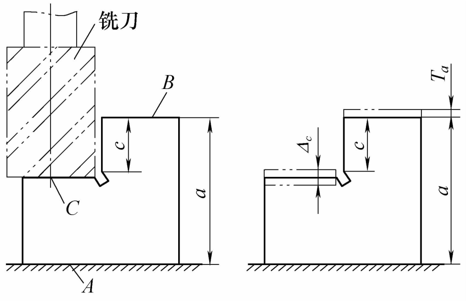
①　基准重合原则。即尽可能用设计基准作定位基准，这样可以避免因基准不重合而引起的定位误差。如图 7-12a 所示工件，如用调整法铣削 B 面和 C 面，都可以用 A 面作定位基准，并符合基准重合原则；而图 7-12b 上由于尺寸 $c^{+T_c}_{0}$ 的设计基准是 B 面，因此在铣削 C 面时，如仍用 A 面作定位基准，则定位基准与设计基准不重合。这样加工 C 面时（见图 7-13a），尺寸 c 的误差不仅包括本工序的加工误差 Δ_c，而且还包括尺寸 a 的尺寸公差 T_a（见图 7-13b）。为了保证尺寸 c 的精度要求，上述两项误差之和应小于或等于尺寸 c 的公差 T_c，即



a)　　b)

图 7-12　定位基准的选择

a）以 A 面为定位基准加工 B 面、C 面　b）以 B 面为定位基准加工 C 面



a)　　b)

图 7-13　基准不重合定位误差

a）以 A 面定位铣削 C 面

b）尺寸 C 的误差（Δ_c+T_a）

$$\Delta_c+T_a\leqslant T_c$$

由上式可见，在 T_c 为一定值时，由于定位误差的出现，必须提高本工序的加工精度，从而增加了加工成本和难度。当然如果选用 B 面作定位基准，则尺寸 c 的误差仅为本工序的加工误差 Δ_c，而尺寸 a 的公差 T_a 对加工尺寸 c 没有影响。因此，应尽量遵守基准重合原则。

②　基准统一原则。即尽可能选择加工工件上多个表面都能使用的定位基准作为精基准，以便于保证各加工表面间的相互位置精度，避免因定位基准变换而产生的误差，同时也可以减少或简化夹具的设计和制造。图 7-14 所示的活塞各部分的加工。常采用止口作为精基准。又如在加工发动机机体上的孔及端平面时，采用底面 A 及 A 面上两个相距较远的工艺孔作为精基准（见图 7-15），这些都是基准统一的典

型实例。此外，轴类零件的车削加工常以两端顶尖孔作为精基准，也是常见的基准统一。

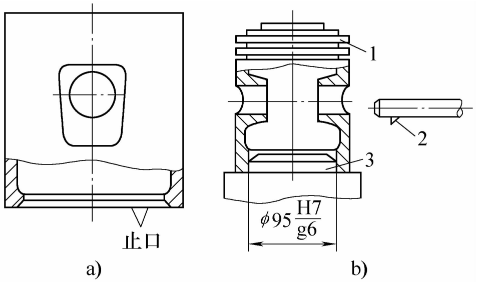


图 7-14 用活塞止口作精基准

a）活塞的止口 b）用止口定位加工活塞销孔

1—活塞 2—内孔车刀 3—定位销

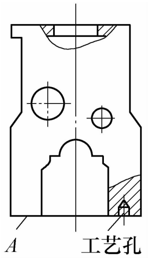


图 7-15 发动机机体的精基准

③ 自为基准原则。对某些精加工工序要求加工余量小而均匀时，可选择加工表面本身作为定位基准，称为自为基准原则。图 7-16 所示为磨削床身导轨面时，先用指示表找正工件的导轨面，然后再磨削导轨面，可保证被磨表面的加工余量小而均匀。此外，内孔拉削、浮铰、珩磨、无心外圆磨削都是自为基准的实例。必须指出，自为基准加工只能提高加工面本身的精度，而不能提高加工面的相互位置精度。

④ 互为基准原则。当零件上的两个表面相互位置精度以及它们自身的尺寸、形状精度都要求较高时，可将这两个表面互为定位基准，多次反复加工，直至达到其技术要求，这就是互为基准原则。例如在加工精密齿轮时，当用高频淬火将齿面淬硬后，需要进行磨齿，由于齿面淬硬层较薄，故要求磨削余量小而均匀。此时，应先以齿面为定位基准磨削内孔（见图 7-17），然后再以内孔为基准磨削齿面，这样不仅可以保证磨齿的余量小而均匀，而且又能使轮齿的基圆对内孔有较高的同轴度。

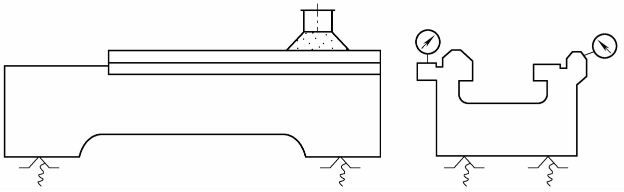


图 7-16 磨削床身导轨面

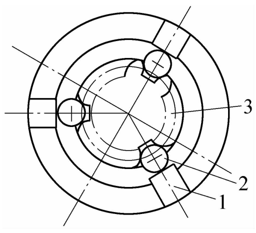


图 7-17 以齿面为定位基准磨削内孔

1—卡盘 2—滚柱 3—齿轮

⑤ 保证工件定位准确、夹紧可靠原则。应选择精度较高、表面粗糙度值较小、支承面积较大的表面作为精基准，以保证工件安装时的定位准确、稳定、夹紧可靠，并使夹具结构简单和操作方便。

上述精基准的选择原则在运用时会发生矛盾，应根据零件的结构特点和主要技术要求，灵活运用，在保证满足主要要求的同时，尽可能兼顾其他方面。

3）辅助基准的应用。在选择基准时，对某些结构零件，有时难以用自身的工作表面作为定位基准，这时可专门设计、加工出一组表面作为加工时的定位基准。例如活塞上的止口（见图 7-14）、轴类零件上两端面的中心孔等，都属于辅助基准，它在零件工作时毫无作用，纯粹是为了定位、测量、维修等工艺上的需要而加工的。又如图 7-18 所示的刀架，在加工 A 面时，为了使 C 面的定位稳定可靠，铸造时专门增加了凸台 B，此凸台也是辅助基准，加工

完毕后，再将它去除。表7-3中序号7的结构工艺性对比也是辅助基准的实例。

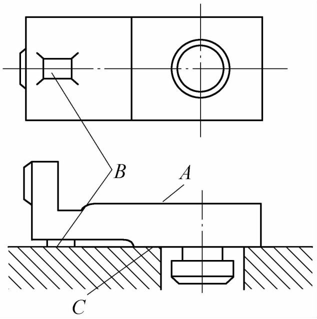


图7-18　刀架

4）工序基准的选择。选择工序基准时，应遵守以下原则：

①　工序基准与设计基准重合。如果被加工表面的设计基准适合作定位基准，则应该选它作为工序基准，实现工序基准与设计基准重合。

②　工序基准应当可作为测量基准，使测量方便，并实现工序基准与测量基准重合。

必须指出，当工序基准与设计基准或测量基准不重合时，则需用工艺尺寸链的相关公式进行工艺尺寸换算，这常常需要压缩原始尺寸公差，从而增加加工的难度。

6. 工艺尺寸链及工艺尺寸计算示例

（1）工艺尺寸链的定义、组成及特征　在零件的机械加工过程中，由相互连接的尺寸形成的封闭尺寸组合称为工艺尺寸链。如图7-19a所示，用零件的表面1定位加工表面2，得到尺寸A_1；再加工表面3，得到尺寸A_2，并自然形成了尺寸A_0。于是，A_1、A_2、A_0连接而成为一个封闭的尺寸组合，形成了工艺尺寸链（见图7-19b）。

组成尺寸链的每一个尺寸都称为尺寸链的环。图7-19中的A_1、A_2、A_0都是尺寸的环，但按其在尺寸链中的作用不同，它们又分为封闭环和组成环。在零件加工中，最后自然形成（间接获得）的尺寸称为封闭环，如图7-19中的A_0。每个尺寸必须且只能有一个封闭环，用A_0表示。在加工过程中，直接得到的尺寸称为组成环。尺寸链中除封闭环外都是组成环。按组成环对封闭环影响的不同，组成环可

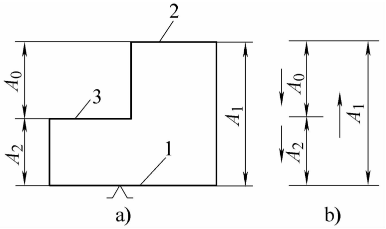


图7-19　工艺尺寸链

a）零件示意图　b）工艺尺寸链图

1、2、3—零件表面

分为增环和减环。

在尺寸链中，当某个组成环的尺寸变动时（其余组成环的尺寸不变），使封闭环的尺寸也同向变动，则该组成环称为增环。如图7-19中的A_1，即在A_2不变时，A_1增大会引起A_0增大，A_1减小会引起A_0减小，故A_1为增环，用$\overrightarrow{A}_1$表示。如果在其他组成环尺寸不变的情况下，某一组成环的尺寸变动会引起封闭环的尺寸反向变动，则该组成环称为减环，如图7-19中的A_2。即在A_1不变时，A_2增大会引起A_0减小，而A_2减小会使得A_0增大，故A_2为减环，并用$\overleftarrow{A}_2$表示。

工艺尺寸链有以下特征：

1）封闭性。在建立工艺尺寸链时，首先要确定哪一个尺寸是自然形成、间接获得的，即封闭环。再从封闭环一端起，依次画出有关直接得到的尺寸，即各组成环，直到尺寸的终端回到封闭环的另一端，形成一个封闭的尺寸链图。

2）相关性。相关性就是尺寸链的组成环中只要有一个环的尺寸变动，就会引起封闭环尺寸的变动。

在分析、计算工艺尺寸链时，正确地判断封闭环、增环、减环是最为重要的。通常在确定封闭环后，先给封闭环沿任意一个方向画上箭头，然后沿此方向环绕尺寸链，依次给每一个组成环画出箭头。凡是组成环尺寸箭头方向与封闭环箭头方向相反的均为增环，方向相同的则为减环（见图7-20）。必须指出，在工艺尺寸链中，最后形成的封闭环必须是在加工顺序确定后才能判断，当加工顺序改变后，封闭环也会随之改变。

（2）尺寸链的计算方法　尺寸链的计算方

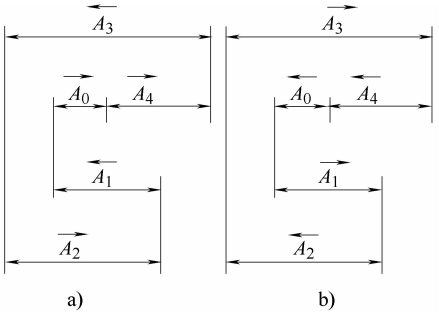


图 7-20 增减环的判断

a) 封闭环$\overrightarrow{A_0}$的箭头方向 b) $\overrightarrow{A_0}$的箭头方向相反

A_1、A_3 为增环、A_2、A_4 为减环

法有极值法和概率法，下面介绍常用的极值法计算尺寸链的基本公式。

进行尺寸链计算，首先要画出尺寸链图，找出封闭环，判定增环和减环，然后先计算基本尺寸，再计算极限尺寸。其基本公式如下：

1）封闭环基本尺寸的计算公式。

$$A_0 = \sum_{i=1}^{m} \overrightarrow{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_j$$

式中 A_0——封闭环的基本尺寸（mm）；

$\overrightarrow{A}_i$——各增环的基本尺寸（mm）；

$\overleftarrow{A}_j$——各减环的基本尺寸（mm）；

m——增环的环数；

n——尺寸链中包括封闭环在内的总环数。

2）封闭环极限尺寸的计算公式。

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^{m} \overrightarrow{A}_{i\max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{j\min}$$

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^{m} \overrightarrow{A}_{i\min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{j\max}$$

式中 $A_{0\max}$——封闭环的最大极限尺寸(mm)；

$A_{0\min}$——封闭环的最小极限尺寸(mm)；

$\overrightarrow{A}_{i\max}$——各增环的最大极限尺寸(mm)；

$\overrightarrow{A}_{i\min}$——各增环的最小极限尺寸(mm)；

$\overleftarrow{A}_{j\max}$——各减环的最大极限尺寸(mm)；

$\overleftarrow{A}_{j\min}$——各减环的最小极限尺寸(mm)；

m——增环的环数；

n——尺寸链中包括封闭环在内的总环数。

3）封闭环上、下偏差的计算公式。

$$ESA_0 = \sum_{i=1}^{m} ES\,\overrightarrow{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} EI\,\overleftarrow{A}_j$$

$$EIA_0 = \sum_{i=1}^{m} EI\,\overrightarrow{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} ES\,\overleftarrow{A}_j$$

式中 ESA_0——封闭环的上偏差（mm）；

EIA_0——封闭环的下偏差（mm）；

$ES\,\overrightarrow{A}_i$——各增环的上偏差（mm）；

$EI\,\overrightarrow{A}_i$——各增环的下偏差（mm）；

$ES\,\overleftarrow{A}_j$——各减环的上偏差（mm）；

$EI\,\overleftarrow{A}_j$——各减环的下偏差（mm）。

4）封闭环公差的计算公式。

$$T_0 = ESA_0 - EIA_0 = \sum_{i=1}^{m} \overrightarrow{T}_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{T}_j$$

式中 T_0——封闭环的公差（mm）；

$\overrightarrow{T}_i$——各增环的公差（mm）；

$\overleftarrow{T}_j$——各减环的公差（mm）。

本计算公式表明，封闭环的公差等于各组成环的公差之和。

尺寸链计算有正计算、反计算和中间计算三种。正计算是已知各组成环的基本尺寸和极限偏差，求封闭环的基本尺寸和极限偏差；反计算是已知封闭环的基本尺寸和极限偏差，求各组成环的基本尺寸和极限偏差；中间计算是已知封闭环和部分组成环的基本尺寸和极限偏差，求某一组成环的基本尺寸极限偏差。基准不重合等工艺尺寸链的计算常属于中间计算。

（3）工艺尺寸链的计算示例与分析

1）定位基准与设计基准不重合时的尺寸换算。

例 1：如图 7-21a 所示零件，在高度方向的设计尺寸为 $60_{-0.1}^{0}$ mm（A_1）和 $25_{0}^{+0.25}$ mm（A_2），因此，在设计尺寸链（见图 7-21b）中，A_0 是封闭环。零件的加工过程是先铣削底面 1，再以底面 1 为精基准铣削表面 3，获得尺寸 A_1（$60_{-0.1}^{0}$）mm。铣削表面 2 时，如以表面 3 为定位基准，则定位基准与设计基准重合，不存在基准不重合问题。然而由于用表

面3定位存在夹具结构复杂、定位支承面小等实际问题，往往还是用支承面积大、又符合基准统一原则的底面1作定位基准，因而出现了定位基准和设计基准不重合的情况。由图7-21c所示的工艺尺寸链中可见，尺寸$25^{+0.25}_{0}$（L_0）成为封闭环，而L_2即为设计尺寸链中的封闭环A_0。基准不重合所产生的定位误差，需通过工艺尺寸链计算来求得加工表面2时调整铣刀的位置尺寸，以保证工件的加工精度。计算如下：

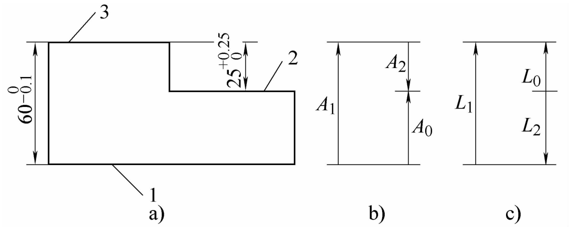


图7-21　台阶板

a）工件简图　b）设计尺寸链　c）工艺尺寸链

1、2、3—零件表面

由图7-21c可见，封闭环为L_0，L_1为增环，L_2为减环，$L_0=L_1-L_2$。

①L_2的基本尺寸：$L_2=L_1-L_0=60-25=35$（mm）

②L_2的极限偏差：

$$ES L_2 = EI L_1 - EI L_0 = (-0.1)-0 = -0.1(mm)$$

$$EI L_2 = ES L_1 - ES L_0 = 0-(+0.25) = -0.25(mm)$$

得　$L_2 = 35^{-0.10}_{-0.25} = 34.9^{\ 0}_{-0.15}(mm)$

即以底面1为定位基准铣削表面2时，按工艺尺寸$34.9^{\ 0}_{-0.15}$mm调整铣刀距离底面1的位置，既可以保证加工精度，又可以使加工调整方便。

例2：图7-22所示为支架镗孔工艺尺寸的计算，A、B、C面以及尺寸$10^{+0.03}_{0}$mm和$40^{+0.03}_{0}$mm已加工完毕，现以A面为定位基准镗削ϕD孔，要求保证尺寸（25±0.06）mm，现需确定用调整法加工时对刀所需的工序尺寸x及其极限偏差。

由图7-22b可见，尺寸（25±0.06）mm为间接获得的尺寸，为封闭环，而尺寸x和$10^{+0.03}_{0}$mm为增环，尺寸$40^{\ 0}_{-0.05}$mm为减环。

①x的基本尺寸。

$$A_0 = x + A_2 - A_1$$

$$x = A_1 + A_0 - A_2 = 40 + 25 - 10 = 55\ (mm)$$

②x的极限偏差。

$$ESA_0 = ESx + ESA_2 - ETA_1$$

$$ESx = 0.06 - 0.03 - 0.05 = -0.02\ (mm)$$

$$ETA_0 = EIx + ETA_2 - ESA_1$$

$$EIx = -0.06 - 0 + 0 = -0.06\ (mm)$$

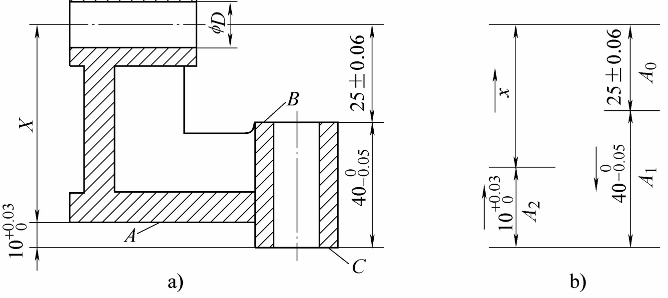


图7-22　支架镗孔工艺尺寸的计算

a）工件简图　b）工艺尺寸链

即工序尺寸 $x=55_{-0.06}^{-0.02}$mm。在镗削 ϕD 孔时，调整镗刀刀杆中心位置距离定位基准 A 面的尺寸为 $55_{-0.06}^{-0.02}$mm，即可保证 ϕD 孔中心与 B 面的尺寸为（25 ±0.06）mm。

2）测量基准与设计基准不重合时的尺寸换算。

例 1： 图 7-23a 所示工件，按调整法加工，以 B 面和外圆下母线定位铣削 A、C 面，需保证尺寸 $10_{0}^{+0.20}$mm 和（5 ±0.05）mm。现通过尺寸链换算求出加工面和定位基面间的工序尺寸及极限偏差。

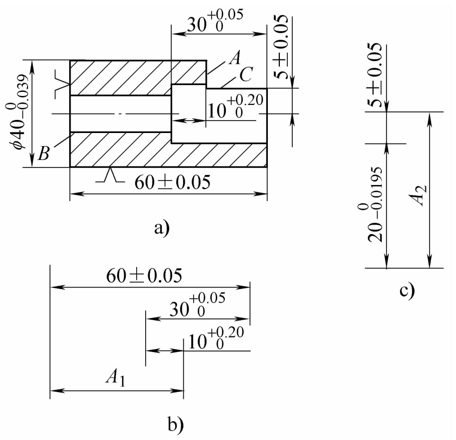


图 7-23 测量基准与设计基准不重合时的尺寸换算（例 1）

a）工件简图 b）轴向尺寸链 c）径向尺寸链

①轴向尺寸换算，求铣削 A 面的工序尺寸 A_1 及偏差。

由图 7-23b 所示的尺寸链图可见，$10_{0}^{+0.20}$mm 是以 B 面定位加工 A 面后间接得到的尺寸，故为封闭环。A_1、$30_{0}^{+0.05}$mm 为增环，（60 ±0.05）mm 为减环。

a. A_1 的基本尺寸。

$$10=A_1+30-60$$

$$A_1=40\ (\text{mm})$$

b. A_1 的极限偏差。

$$0.2=ESA_1+0.05-(-0.05)$$

$$ESA_1=+0.1\ (\text{mm})$$

$$0=EIA_1+0-0.05$$

$$EIA_1=0.05\ (\text{mm})$$

即工序尺寸 $A_1=40_{+0.05}^{+0.1}\text{mm}=40.1_{-0.05}^{0}$mm，即可保证尺寸 $10_{0}^{+0.2}$mm 符合要求。

②径向尺寸换算，求铣削 C 面的工序尺寸 A_2 及偏差。

由图 7-23c 所示的尺寸链图可见，尺寸（5 ±0.05）mm 是以外圆下母线定位铣削 C 面后间接得到的，故为封闭环。A_2 为增环，$20_{-0.0195}^{0}$mm 为减环（外圆直径 $\phi40_{-0.039}^{0}$mm 改用半径标注，即 $20_{-0.0195}^{0}$mm）。

a. A_2 的基本尺寸。

$$5=A_2-20$$

$$A_2=25\ (\text{mm})$$

b. A_2 的极限偏差。

$$0.05=ESA_2-(-0.0195)$$

$$ESA_2=0.0305\ (\text{mm})$$

$$-0.05=EIA_2-0$$

$$EIA_2=-0.05\ (\text{mm})$$

即工序尺寸 $A_2=20_{-0.05}^{+0.0305}$mm，即可保证尺寸 5 ±0.05mm 符合要求。

例 2： 图 7-24 所示零件，上部的槽深尺寸 $5_{0}^{+0.2}$mm 加工后不便于直接测量，需选择间接测量的方式，并计算出测量尺寸及其上下偏差。为便于测量，现选择外圆柱面的下母线为测量基准。由图 7-24b 可见，其尺寸链的组成环为外圆直径 A_1 和测量尺寸 A_2。其中，A_1 为增环，A_2 为减环。

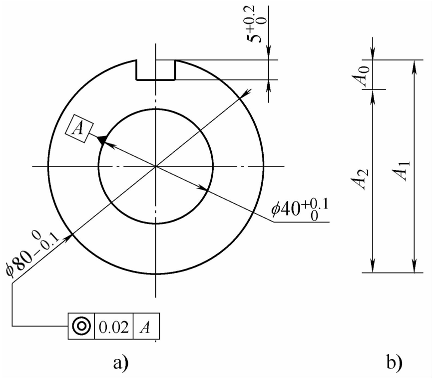


图 7-24 测量基准与设计基准不重合时的尺寸换算（例 2）

a）工件简图 b）尺寸链

①A_2 的基本尺寸。

$$A_0=A_1-A_2$$

$$A_2=A_1-A_0=80-5=75\ (\text{mm})$$

② A_2 的极限偏差。

$$ESA_0 = ESA_1 - EIA_2$$

$$EIA_2 = 0 - 0.2 = -0.2\ (mm)$$

$$EIA_0 = EIA_1 - ESA_2$$

$$ESA_2 = -0.1 - 0 = -0.1\ (mm)$$

由以上计算得出，测量尺寸 $A_2 = 75^{-0.1}_{-0.2}$mm。

从计算结果可见，A_2 的尺寸公差为 0.1mm。由图 7-24 可见，被加工槽的深度尺寸为 $5^{+0.2}_{0}$mm，其公差为 0.2mm，即由于基准不重合使得加工槽时允许的加工误差由 0.2mm 压缩为 0.1mm，加工的难度加大，被压缩的 0.1mm 即是基准不重合带来的误差。

如果按图 7-25a 的方式标注尺寸，即选择轴的下母线为设计基准，则测量基准和设计基准重合，不会出现此项基准不重合误差。然而在铣槽时，如果以图 7-25b 的方式定位，即以轴的中心线定位，则出现定位基准和设计基准不重合，又将会产生基准不重合误差。如果选用图 7-25c 的方式定位铣削，则定位基准和设计基准重合，同时也和测量基准重合，从而避免了基准不重合误差。

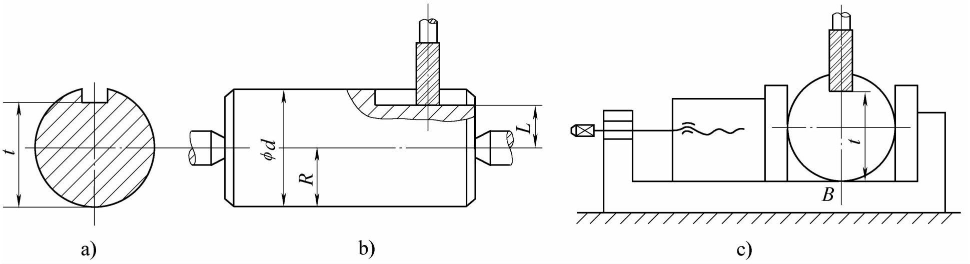


图 7-25 设计基准与定位基准、测量基准间的关系

a）槽的设计基准 b）定位基准与设计基准不重合 c）定位基准与设计基准重合

3）工序基准选择的实例分析。图 7-26 所示为拨叉的零件图，图中以平面 K 为底面的槽有待加工。图 7-27 所示为拨叉铣槽工序图（方案一）。工序中零件的定位基准是端面 N，而端面 N 也是工序基准和测量基准。而由图 7-26 可见，端面 N 又是槽底平面 K 的设计基准。因此，这是一种各种基准全部重合的情况，则工序尺寸 A' 和设计尺寸 A 相同，即 $A' = A = (20 \pm 0.5)$ mm。

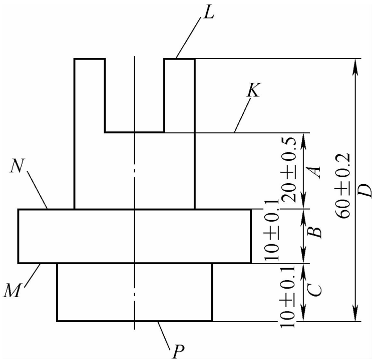


图 7-26 拨叉的零件图

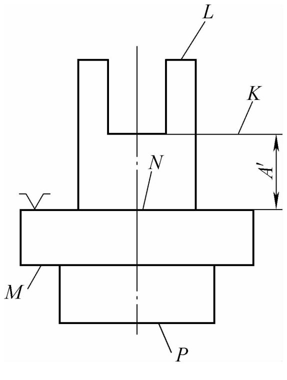


图7-27 拨叉铣槽工序图（方案一）

A'—工序尺寸 K—被加工表面

⋁—定位基准符号

图 7-28 所示为拨叉铣槽工序图（方案二）。工序中选用端面 M 作定位基准，同时端面 M 也作为工序基准。这样，虽然定位基准、工序基准和测量基准重合，但工序基准与设计基准不重合（见图 7-26），因此工序尺寸 A' 必须通过尺寸链换算来确定，见图 7-29。尺寸链中的 A 为封闭环，A'、B 为组成环。其中，A' 为增环，B 为减环。计算如下：

① A' 的基本尺寸。

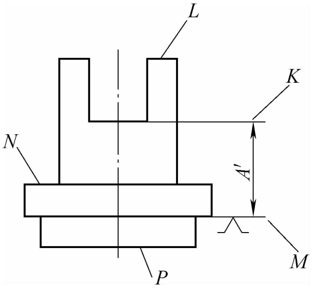


图 7-28 拨叉铣槽工序图（方案二）

A'—工序尺寸 K—被加工表面

⌵—定位基准符号

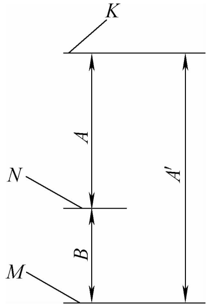


图7-29 计算 A'的尺寸链图

$$A = A' - B$$

$$A' = A + B = 20 + 10 = 30\ (\text{mm})$$

②A'的极限偏差。

$$\text{ESA}_A = \text{ES}_{A'} - \text{EI}_B$$

$$\text{ES}_{A'} = \text{ES}_A + \text{EI}_B = 0.5 + (-0.1) = 0.4\ (\text{mm})$$

$$\text{EI}_A = \text{EI}_{A'} - \text{ES}_B$$

$$\text{EI}_{A'} = \text{EI}_A + \text{ES}_B = -0.5 + 0.1 = -0.4\ (\text{mm})$$

即工序尺寸 $A' = 30 \pm 0.4\text{mm}$。

图 7-30a 所示为拨叉铣槽工序（方案三）。零件以端面 P 作定位基准，以顶面 L 作工序基准，工序基准与设计基准不重合，工序尺寸 A'需经计算确定。图 7-30b 所示为计算 A'的尺寸链图。其中，A 为封闭环，D 为增环，A'、B、C 为减环，计算如下：

①A'的基本尺寸。

$$A = D - A' - B - C$$

$$A' = D - A - B - C = 60 - 20 - 10 - 10 = 20(\text{mm})$$

②A'的极限偏差。

$$\text{ESA}_A = \text{ES}_D - (\text{EI}_{A'} + \text{EI}_B + \text{EI}_C)$$

$$\text{EI}_A{}' = \text{ES}_D - (\text{ES}_A + \text{EI}_B + \text{EI}_C)$$

$$= 0.2 - 0.5 - (-0.1) - (-0.1)$$

$$= -0.1(\text{mm})$$

$$\text{EI}_A = \text{EI}_D - (\text{ES}_{A'} + \text{ES}_B + \text{ES}_C)$$

$$\text{ES}_{A'} = \text{EI}_D - (\text{EI}_A + \text{ES}_B + \text{ES}_C)$$

$$= -0.2 - (0.5) - 0.1 - 0.1$$

$$= 0.1(\text{mm})$$

即工序尺寸 $A' = 20 \pm 0.1\text{mm}$。

比较铣槽的三个方案可见，方案一的工序尺寸 A'［（20 ± 0.5）mm］的公差为 1mm，而方案二的工序尺寸 A'［（30 ± 0.4）mm］的公差为 0.8mm，用 P 面定位的方案三的工序尺寸 A'［（20 ± 0.1）mm］的公差更缩小到 0.2mm。这表明正确选择工序基准，避免和减少基准不重合误差，降低加工难度是十分重要的。

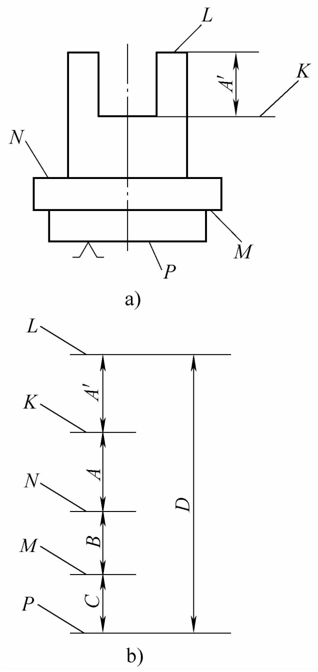


图 7-30 拨叉铣槽工序（方案三）及计算 A'的尺寸链图

a）铣槽工序图（方案三）

b）计算 A'的尺寸链图

A'—工序尺寸 K—被加工面 ⌵—定位基准符号

7.2 改善零件铣削质量的途径与方法

保证零件的加工质量是切削加工中最重要的任务之一。但影响铣削加工质量的因素众多，涉及机床、刀具、装夹、加工工艺及检验

等。因此，为了保证铣削加工质量，必须了解影响加工尺寸、形状、位置精度及表面粗糙度等相关因素，熟悉改善加工质量的方法。

7.2.1 加工尺寸精度及改善措施

获得切削加工尺寸精度的方法有试切法、定尺寸刀具法、调整法和自动控制法。

1）试切法。在通用机床上加工时（如铣平面），试切法是获得尺寸精度最基本的方法。试切法就是先试切、测量尺寸，调整后再试切、测量，使达到规定的尺寸要求后，再切削整个工件表面。

2）定尺寸刀具法。用钻头、铰刀进行钻孔、铰孔，用键槽铣刀铣削键槽时，孔及键槽的尺寸精度是由刀具的制造精度和刃磨质量来保证的。这种获得尺寸精度的方法称为定尺寸刀具法。

3）调整法。在调整好刀具相对于机床（或夹具）的位置后，加工一批零件的方法称为调整法。

4）自动控制法。在数控铣床以及带有自动测量装置的机床上加工时，加工尺寸达到规定的要求后，机床会自动停止加工，这种方法称为自动控制法。

影响加工尺寸精度的主要因素及改善措施见表 7-6。

表 7-6 影响加工尺寸精度的主要因素及改善措施

获得尺寸精度的方法	主要影响因素	改善措施
试切法	1）测量误差	合理选择测量工具及测量方法，控制测量条件，采用多次重复测量
	2）进给机构位移误差	提高进给机构的制造精度、传动刚度，减小摩擦力，采用新型微量进给机构
	3）试切时与正式切削时切削层厚度不同的影响	选择切削刃钝圆半径小的刀具材料，精细研磨刀具刃口 提高工艺系统刚度
调整法	除试切法中的影响因素外，还有： 1）定程机构的制造安装误差，刚性不足，以及操纵机构的灵敏度	提高定程机构的刚度及操纵机构的灵敏度，减小定程机构的制造、安装误差
	2）样件、样板的制造、安装误差	提高样件、样板制造、安装精度
	3）测量有限试件造成的误差	增加试切工件数
	4）刀具磨损	及时更换刀具或重新调整机床
	5）工件装夹误差	使定位基准与工序基准或设计基准重合，提高定位基面及定位元件制造精度 减小夹紧变形
	6）工艺系统热变形	减少热源的发热和隔离热源 合理确定调整尺寸 机床热平衡后调整加工 控制环境温度
定尺寸刀具法	1） 刀具的尺寸误差及磨损	提高刀具的制造精度，控制刀具的尺寸磨损量，提高耐磨性
	2）刀具的安装误差	提高刀具安装时的位置精度要求
	3）刀具热变形	合理选择切削用量，充分冷却和润滑
自动控制法	控制系统的灵敏度与可靠性	提高控制系统的灵敏度与可靠性 减小切削刃钝圆半径，提高工艺系统刚度

7.2.2 形状精度及改善措施

铣削加工时，影响工件形状精度的主要因素有：铣床的制造、安装、调整及磨损所带来的误差，刀具的制造误差与磨损（成形铣刀的影响最大），工艺系统的受力变形、热变形、工件残余应力引起的变形，以及量具及测量误差等。其中，主轴回转与导轨导向误差的影响最为显著。

影响形状精度的主要因素及改善措施见表7-7。

7.2.3 位置精度及改善措施

影响工件位置精度的因素有机床、夹具制造及定位误差，找正方法及量具的误差等。影响位置精度的主要因素及改善措施见表7-8。

表7-7 影响形状精度的主要因素及改善措施

<table>
<tr><th colspan="2">主要影响因素</th><th>改善措施</th></tr>
<tr><td colspan="2">机床主轴回转误差（主要由轴承误差、轴承间隙、与轴承配合零件的误差及装配质量引起）</td><td>提高主轴部件的制造精度：选用高精度滚动轴承或液体、气体静压轴承，提高箱体支承孔、主轴轴颈和与轴承相配合有关表面的加工精度
对滚动轴承进行预紧
使主轴回转误差不反映到工件上，采用死顶尖支承工件，刀具或工件与机床主轴浮动连接</td></tr>
<tr><td colspan="2">机床导轨的导向误差（主要由导轨的制造、安装误差及磨损引起）</td><td>提高导轨的制造精度
选用合理的导轨形状和导轨组合形式，并在可能的条件下增加工作台与床身导轨的配合长度
采用液体静压导轨
保证机床的安装技术要求</td></tr>
<tr><td colspan="2">各成形运动之间相互位置关系误差</td><td>提高机床的几何精度</td></tr>
<tr><td colspan="2">除成形运动本身误差及成形运动间相互位置关系误差外，刀具的制造误差、安装误差与磨损也会造成加工表面形状误差</td><td>提高刀具的制造精度、刃磨质量、安装精度与耐磨性</td></tr>
<tr><td colspan="2">成形运动间速比关系误差（由于传动元件制造误差与安装误差引起）</td><td>缩短传动链，采用降速传动，提高传动链各传动元件特别是末端件的制造和装配精度
采用校正机构</td></tr>
<tr><td colspan="2">刀具的制造、刃磨与安装误差</td><td>按一定技术要求选择、重磨、安装刀具</td></tr>
<tr><td colspan="2">检具（标准平尺、平台等）误差、检测方法误差</td><td>提高检测用标准平尺和标准平台的精度
采用精密量具、量仪，提高检测精度</td></tr>
<tr><td rowspan="3">工艺系统受力变形</td><td>1）工艺系统刚度在不同加工位置差别较大</td><td>提高工艺系统刚度，特别是薄弱环节刚度</td></tr>
<tr><td>2）毛坯余量不均匀、材料硬度不均匀引起切削力变化</td><td>采用辅助支承或跟刀架</td></tr>
<tr><td>3）重力、夹紧力和惯性力的影响</td><td>改进刀具几何角度、合理选择切削用量，以减小吃刀抗力
精度高的零件需安排预加工工序
采用合理的装夹和加工方式，进行平衡处理</td></tr>
</table>

（续）

主要影响因素		改善措施
工艺系统热变形	机床热变形，破坏了机床静态几何精度	移出、隔离、冷却热源，以减轻热源影响 空运转机床至热平衡状态后再加工 控制环境温度
	工件受热变形时加工，冷却后出现形状误差	进行充分、有效的冷却 合理选择切削用量 改进细长轴、薄板零件的装夹方法 根据工件热变形规律，施加反向变形
	对于时间较长的一次走刀，刀具热变形会造成加工表面形状误差	充分冷却 减小刀杆悬伸长度，增大刀杆断面
工件残余应力	1）加工破坏了残余应力平衡条件，由于残余应力重新分布而引起工件形状变化	改善零件结构，以减小毛坯残余应力
	2）具有残余应力的零件在自然条件下，也会因残余应力松弛、重新平衡而丧失原有精度	进行时效处理 粗、精加工分开 用热校直代替冷校直，精密零件不校直

表 7-8 影响位置精度的主要因素及改善措施

装夹方式	主要影响因素	改 善 措 施
直接装夹	1）机床几何误差 2）工件定位基准面与加工面设计基准间位置误差	提高机床的几何精度 提高加工面的设计基准与定位基准面间的位置精度 采用加工面的设计基准作定位基准面
找正装夹	1）找正方法与量具的误差 2）找正基面或基线的误差 3）工人操作技术水平	采用与加工精度相适应的找正方法与量具 提高找正基面与基线的精度 提高工人操作技术水平
夹具装夹	1）机床几何误差 2）夹具制造、安装误差及刚度不足 3）定位误差	提高机床的几何精度 提高夹具的制造、安装精度及刚度 采用加工面的设计基准作定位基准面 提高工件定位基准面的制造精度 提高加工面的设计基准与定位基准面间的位置精度

7.2.4 表面粗糙度及其改善措施

切削加工时，保证工件加工表面粗糙度值符合图样规定是加工的一项基本要求。影响加工表面粗糙度值大小的主要因素有几何因素和物理因素。

几何因素所产生的表面粗糙度主要取决于残留面积的高度。残留面积是加工时因受刀具与工件的相对运动及刀具几何形状的影响，而在已加工表面上未被切去的一小部分金属（见图 2-28）。理论残留面积的高度 H 可计算如下：

对于尖刃刀具： $H = f/\cot\kappa_r + \cot\kappa_r'$

对于圆弧刃刀具： $H \approx f^2/8r_\varepsilon$

式中 f——进给量；

κ_r——刀具主偏角；

κ_r'——刀具副偏角；

r_ε——刀尖圆弧半径。

由上式可见，减小 f、κ_r、κ_r' 和增大 r_ε，都可以降低残留面积的高度 H，然而切削加工后表面的实际表面粗糙度值往往都高于理论值，这就是切削加工中存在的各种物理因素的

影响。物理因素主要包括工件材料的性质、积屑瘤、切削用量与切削液、刀具及其磨损以及切削时的振动等，分述如下：

（1）工件材料的性质　材料的塑性越大，切削变形越大，因为刀具对加工表面的挤压和摩擦就会产生较大的塑性变形；此外，刀具迫使切屑与刀具分离时的撕裂作用，在已加工表面上留下许多呈鳞片状有裂口的毛刺，造成表面粗糙度值增大。加工脆性材料时，切屑呈崩碎状，工件表面因切屑脆性崩离的裂纹而形成许多小麻点，使表面粗糙度值增大。切削铸铁时，石墨易从工件表面脱落而形成凹痕，也会增大表面粗糙度值。此外，材料的晶粒粗大和不均匀也是增大表面粗糙度值的因素之一。

（2）积屑瘤　在切削塑性材料时，如刀具前刀面上存在积屑瘤（见图 2-20 及相关说明），不仅能在工件表面划出纵向沟纹，还会在破碎脱落时粘附在已加工表面上（见图 7-31），而恶化加工表面质量。

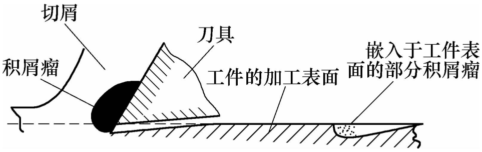


图 7-31　积屑瘤对工件表面质量的影响

（3）切削用量与切削液

1）背吃刀量 a_p。背吃刀量对表面粗糙度的影响不明显，一般可以忽略，但当 $a_p <$ 0.02mm 时，由于刀尖有一定的圆弧半径，使切削刃无法切入工件，而与工件发生挤压与摩擦，从而使表面恶化。因此，精加工时不能选用过小的背吃刀量 a_p。

2）进给量 f。减小进给量 f，可以减小残留面积高度 H，从而使表面粗糙度值减小；但是如果进给量过小，会使切削厚度太小从而造成切削刃无法切入工件，与工件产生强烈的挤压和摩擦，反而使表面粗糙度值增大。

3）切削速度 v_c。切削塑性材料时，应避开中等切削速度，以减少切削变形和防止积屑瘤的产生。采用低速或高速切削，特别是高速切削，既可防止积屑瘤的产生，又可减少切削变形，因而更有利于减小加工表面粗糙度值。

4）切削液的使用。正确选用切削液，有利于减小加工表面粗糙度值（见第 5 章）。

（4）刀具及其磨损

1）刀具的几何角度方面。除了增大刀尖圆弧半径 r_ε、减小主偏角 κ_r 和副偏角 κ_r'以外，在精加工时还可以在切削刃上磨出长度比进给量稍大的修光刃（$\kappa_r' = 0°$）；加工塑性大的材料时，采用较大的前角，以减小切削变形，这些方法都有利于减小表面粗糙度值。

2）刀具的刃磨及磨损方面。提高刀具的刃磨质量，减小刀具前、后刀面的表面粗糙度值（抛光至 $Ra1.25\mu m$ 以下），减少刀具和工件加工表面之间的摩擦；限制切削刃上的磨损量，防止切削刃磨损后造成的缺陷复映在工件加工表面上形成沟痕、增加摩擦而导致工件表面粗糙度值增大。

3）刀具材料方面。为减少切削时刀具与工件表面之间的摩擦，可选用细颗粒的硬质合金；加工有色金属可采用金刚石或矿物陶瓷刀具、用陶瓷或碳化钛基硬质合金；高速钢刀具加涂 TiN 涂层等。

（5）振动的影响　切削过程中出现振动，会使工件表面产生振纹而造成表面粗糙度值增大。振动中的强迫振动和自激振动对切削加工影响较大。

1）强迫振动。强迫振动是指在外界周期性变化的干扰力作用下产生的振动。造成强迫振动的原因有以下几个方面：

①机床方面。机床运动的不平稳由多种原因引起，如电动机、带轮、卡盘、刀盘、工件等不平衡而引起的周期性变化的离心力；此外，机床传动元件的缺陷，如齿轮的周节误差和周节积累误差以及安装不良，主轴轴颈的椭圆度、轴承精度低，主轴和轴承之间的间隙过大，轴承滚动体的尺寸及形状误差大，V 带的厚度不均匀，平带的接头不平，液压系统工作时的压力脉冲与冲击等，也会带来周期性变化的传动力。

②刀具方面。多刃、多齿刀具，如铣刀、铰刀、滚刀、拉刀等，切削时由于刃口高度误差及断续切削而引起的冲击，容易产生振动。

③工件方面。被切削工件表面上有断续表面，或余量不均、硬度不一致，都会在加工中引起振动。

④其他因素。如机床附近有锻锤、冲床、空气压缩或重型机床等设备在工作，它们造成的冲击力会通过地基传入而引起振动。

强迫振动的特点之一是其振动的频率等于振源干扰力的频率，去除干扰力后，强迫振动就会停止。因此，根据振动频率找出干扰力的来源，采取相应的技术措施，可以有效地防止强迫振动。

2）自激振动。自激振动是指在没有外界干扰力的情况下产生的振动。其特点是：维持振动的激振力是由切削过程带来的，只要停止切削过程，即使机床继续空转，振动也不会发生。

在切削加工过程中，当工艺系统刚性不足时，由于某种原因引起切削力变化，如余量不均匀引起切削厚度的变化、工件表面硬度不均匀、切屑与刀具之间摩擦力的变化、积屑瘤的增大和减小以及刀具的磨损等，都会引起自激振动。

（6）减小加工表面粗糙度值的工艺措施

综上所述，减小加工表面粗糙度值的措施有以下几个方面：

1）根据工件、加工要求，选用适当的刀具材料。

2）精加工时，应选择较小的进给量 f、主偏角 κ_r、副偏角 κ_r'和较大的刀尖圆弧半径 r_ε。

3）加工塑性材料时，采用较高的切削速度，并适当加大刀具的前角。

4）对工件材料进行适当热处理，以降低塑性，细化和均匀晶粒组织。

5）减小刀具前、后刀面的表面粗糙度值，合理限制刀具的磨钝标准 VB。

6）合理选择切削液，以减小切削变形、减小摩擦，降低切削区温度，抑制积屑瘤的产生，可以有效地减小加工表面粗糙度值。

7）为防止强迫振动的产生，应平衡好机床上运动的零部件；消除机床传动元件的缺陷；稳定机床液压系统的工作压力；正确刃磨刀具；保持加工余量均匀和工件材料的硬度均匀；对机床地基采取隔振措施或搬出工作时产生很大冲击、振动的机械设备。

8）为防止自激振动的产生，应适当地增大前角 γ_o、主偏解 κ_r，以减小切削力而减小振动。合理地减小后角，通常可在刀具主后刀面下磨出一小段 α_o 角为负值的窄棱面，或用油石使新刃磨的刃口稍稍钝化，都有利于防止自激振动的产生。增大刀尖圆弧半径 r_ε 和背吃刀量 a_p，都会增大切削力，容易引起振动。中等切削速度（50～60m/min）时，自激振动最容易产生，而进给量 f 的增大会使自激振动的振幅减小。因此，为防止自激振动，在表面粗糙度允许的条件下，可选取较大的进给量 f。提高机床、刀具、工件整个工艺系统的刚性和采用消振器装置，是防止自激振动十分有效的措施。

7.2.5　铣削加工中常见问题的原因及解决方法

铣削加工中常见问题的原因及解决方法见表7-9。

表7-9　铣削加工中常见问题的产生原因及解决方法

问题	产生原因	解决方法
尺寸超差	1）立铣刀、键槽铣刀、三面刃铣刀等刀具本身摆动，铣刀宽度（或直径）尺寸不准	1）检查铣刀刃磨后是否符合图样要求；及时更换已磨损的刀具；检查铣刀安装后的摆动是否超过精度要求范围；检查铣刀刀杆是否弯曲；检查铣刀与刀杆套筒接触之间的端面是否平整或与轴线是否垂直，或有杂物毛刺未清除
	2）工作台“零位”不准，使被铣台阶上部尺寸不准	2）调准工作台“零位”
	3）移动工作台调整尺寸时，摇得不准	3）正确调整工作台位置
	4）测量不准	4）正确选择和使用量具

（续）

问题	产生原因	解决方法
直线度超差	1）铣刀刀齿旋转母线跳动误差大 2）铣刀刀杆弯曲变形 3）铣床主轴跳动大 4）铣刀刀杆右端轴颈与支架孔配合间隙太大	1）正确刃磨铣刀，使用前进行检验。圆柱铣刀的径向跳动量不得超过0.03mm；面铣刀用端面刀齿切削时，端面跳动量不得超过0.02mm 2）检查铣刀杆并进行校直或更换 3）调整主轴与轴承的配合间隙 4）调整两者的配合间隙，使松紧适宜
平面度超差	1）铣刀的圆柱度差，铣刀轴线与工件不垂直，工件在夹紧中产生变形，铣削热产生的变形，铣削力的作用下产生变形 2）工件由于存在应力，使表层切除后产生变形 3）铣床工作台进给运动的直线度差，铣床主轴轴承的径向和轴向间隙大 4）由于接刀而产生接刀痕	1）减小夹紧力，避免产生变形 2）检查夹紧点是否在工件刚度最好的位置 3）在工件的适当位置增设可锁紧的辅助支承，以提高工件刚度 4）检查定位基面是否有毛刺、杂物是否全部接触 5）在工件的安装夹紧过程中，应遵照由中间向两侧或对角顺次夹紧的原则，避免由于夹紧顺序不当而引起的工件变形 6）合理选择切削液（见第5章），并供给足够的流量 7）精铣前，放松工件后再夹紧，以消除粗铣时的工件变形 8）校准铣刀轴线与工件平面的垂直度，避免产生工件表面铣削时下凹 9）通过适当的热处理，去除工件内应力 10）正确刃磨铣刀，并检测铣刀的圆柱度 11）检测和调整铣床，改善工作台运动的直线度，使主轴轴承间隙合适 12）适当减小进给量，减轻接刀痕的影响
垂直度超差	立铣刀铣侧面时，直径偏小，或振动、摆动；三面刃铣刀垂直于轴线进给铣侧面时，刀杆刚度不足	1）选用直径较大、刚度好的立铣刀 2）检查铣刀套筒或夹头与主轴的同轴度以及内孔与外圆的同轴度，并消除安装中可能产生的歪斜 3）减小进给量或提高铣削速度 4）适当减小三面刃铣刀直径，增大刀杆直径，并降低进给量，以减小刀杆的弯典变形

（续）

问题	产生原因	解决方法
表面粗糙度值偏大	铣削时进给量太大、铣削中产生振动，铣刀跳动，铣刀磨钝、切削液选用不当、积屑瘤的存在、工件材料塑性大、铣刀几何角度选择不当	1）降低每齿进给量 2）采用宽刃大圆弧修光齿铣刀，合理选择刀具几何角度 3）检查工作台镶条消除其间隙以及其他运动部件的间隙 4）检查主轴孔与刀杆配合及刀杆与铣刀配合，消除其间隙或在刀杆上加装惯性飞轮 5）检查铣刀刀齿跳动，调整或更换刀片，用油石研磨刃口，降低刃口表面粗糙度值 6）刃磨与更换可转位刀片的刃口或刀片，保持刃口锋利 7）铣削侧面时，用有侧隙角的错齿或镶齿三面刃铣刀 8）选用合适的切削液（见第5章） 9）采用高速或低速铣削等 10）通过热处理，降低工件材料塑性
铣削时出现刺耳的尖叫声	铣刀钝化、主轴转速太高而进给量过小，工件材料硬度很高	1）刃磨或更换铣刀 2）调整切削用量 3）降低工件材料硬度或采用高硬度的刀具材料
铣削时发出微微的“吱吱”响声	工件大而支承的悬空部分太多，铣刀的宽度太大，铣刀杆与支架轴承孔配合间隙大	1）增加工件支承的稳固性，可适当采用辅助支承 2）选用宽度合适的铣刀 3）调整两者之间的配合间隙，使松紧合适
前刀面产生月牙洼	刀片与切屑焊住	1）用抗磨损刀片、用涂层合金刀片 2）降低背吃刀量或铣削负荷 3）用较大的铣刀前角
刃边粘切屑	变化振动负荷造成增加铣削力与温度	1）将刀尖圆弧或倒角处用油石研光 2）改变合金牌号增加刀片强度 3）减少每齿进给量，铣削硬材料时，降低铣削速度 4）使用足够的润滑性能和冷却性能好的切削液（见第5章）
刀齿热裂	高温时迅速变化温度	1）改变合金牌号 2）降低铣削速度 3）适量使用切削液
刀齿变形	过高的铣削温度	1）用抗变形抗磨损的刀片 2）适当使用切削液 3）降低铣削速度及每齿进给量
刀齿刃边缺口或下陷	刀片受拉压交变应力；铣削硬材料刀片氧化	1）加大铣刀的切入角 2）将刀片切削刃用油石研光 3）降低每齿进给量

（续）

问题	产生原因	解决方法
镶齿切削刃破碎或刀片裂开	过高的铣削力	1）采用抗振合金牌号刀片 2）采用强度较高的负前角铣刀 3）用较厚的刀片、刀垫 4）减小进给量或背吃刀量 5）检查刀片座是否全部接触
刃口过度磨损或边磨损	摩擦作用、机械振动及化学反应	1）采用抗磨合金牌号刀片 2）降低铣削速度、增加进给量 3）进行刃磨或更换刀片
铣刀排屑槽结渣	不正常的切屑、容屑槽太小	1）增大容屑空间和排屑槽 2）铣削铝合金时，抛光排屑槽

7.3　典型表面铣削工艺

7.3.1　平面铣削

零件上的平面按其和基准面之间的位置关系，可分为以下三种：

1）垂直面：和基准面相互垂直的平面。

2）平行面：和基准面相互平行的平面。

3）斜面：和基准面既不平行又不垂直的平面。

平面铣削的方式有两种。其中，用铣刀的圆周刀齿进行铣削的称为周铣（见图 2-1a），用铣刀的端面刀齿进行铣削的称为端铣（见图 2-1b）。平面铣削时，端铣与周铣相比有以下特点：

（1）有较高的生产率　通常，面铣刀的铣刀盘上装有较多的硬质合金刀头（见图 2-6、图 2-7）；刀杆粗而悬伸短，刚度较高；刀盘直径大，可达 1m 左右。因此，端铣可以进行高速切削和强力切削，一次可以切除较大的余量和一次铣出较宽的表面，故有较高的生产率。

（2）加工表面的质量较高　图 7-32 所示为面铣刀切削刃的作用。面铣刀外缘排列的主切削刃担负着主要的切削工作，端面的修光刃（长度为 f_g）和副切削刃起修光作用；端铣时刚度好，面铣刀同时参加切削刀齿的数目比周铣多，切削较平稳、振动小；加工表面粗糙度值较小，高速精铣的表面粗糙度值为 $Ra0.8 \sim 0.4\mu m$。

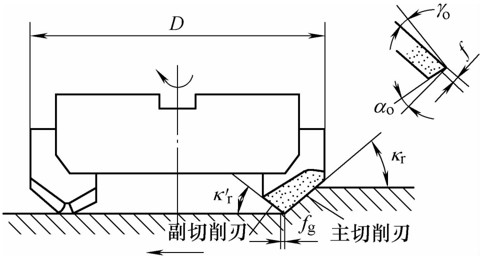


图 7-32　面铣刀切削刃的作用

但是，从加工工艺范围来看，周铣比端铣更加广泛。端铣适于在大批量生产中铣削宽度大的平面；周铣适于在中、小批生产中铣削较狭长的平面、键槽及某些成形表面等。

1. 垂直面的铣削

铣垂直面就是要求铣出的平面与基准面垂直。用圆柱铣刀在卧式铣床上或用面铣刀在立式铣床上铣出的平面，都和工作台的台面平行。所以，铣垂直面时的首要问题就是要把基准面安装得和工作台台面垂直。

（1）将工件装夹在机用虎钳内铣削　当机用虎钳安装到机床工作台上时，只要底面与工作台面密合，机用虎钳的固定钳口就与工作台面垂直。因此在安装工件时，只要把工件基准面与固定钳口紧密贴合即可。装夹时，为了基准面与固定钳口贴合紧密，往往在活动钳口与工件之间放置一根圆棒（见图 7-33a），否则，如果工件上与基准面相对的面是高低不平的毛坯面，或与基准面不平行，在夹紧后基准面与固定钳口就不一定会很好地贴合（见图 7-33b、c），这样铣出的平面就很难和基准面垂直。此

外，在装夹时还应把固定钳口和基准面擦净，否则，杂物的存在就会影响定位精度。如果固定钳口与底平面的垂直度误差较大，就会影响加工质量，则应校正固定钳口（见图7-34）。先用指示表检查钳口的误差，然后用指示表读数的差值乘以钳口铁的高度，再除以指示表的移距，把此数值厚度的铜片或纸片垫在固定钳口和钳口铁之间。如果指示表的读数上面大，则应垫在上面；反之，则垫在下面。也可把钳口铁拆开，并按其误差的数值将其磨准。在钳口铁垫准或磨准后，还需再作检查，直至准确为止。在卧式铣床上铣削工件垂直面见图7-35。

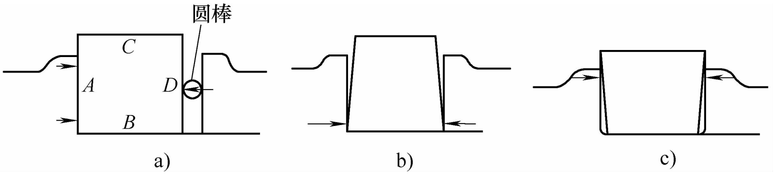


图7-33 在机用虎钳上铣削垂直面的装夹方法
a）贴合正常 b）、c）不能正常贴合

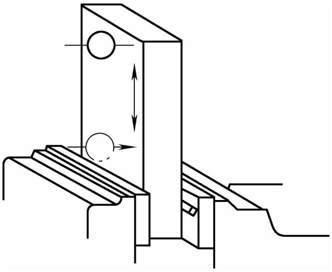


图7-34 校正固定钳口

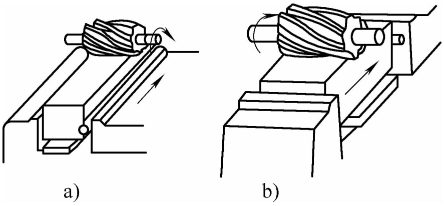


图7-35 在卧式铣床上铣削工件垂直面
a）钳口与铣床主轴垂直
b）钳口与铣床主轴平行

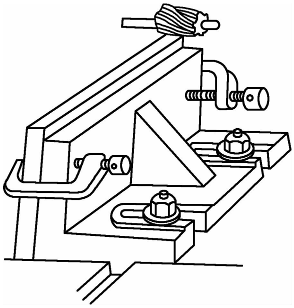


图7-36 用角铁装夹铣削工件垂直面

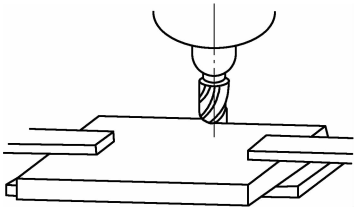


图7-37 用立铣刀铣削工件垂直面

（2）将工件装夹在角铁上铣削 对于基准面比较宽而加工面比较窄的工件，常利用角铁来安装。角铁的一个面与工作台台面贴合后，另一个面就和工作台面垂直（见图7-36），相当于固定钳口。两只C形夹代替了活动钳口的夹紧作用。

（3）用压板装夹工件加工 对于基准面宽而长、加工面又较窄的工件，在立式铣床上用立铣刀铣削较为合适（见图7-37）。工件下面垫平行垫铁，再用压板压紧，这种加工方法比用角铁装夹铣削工件要稳固和方便，加工精度也较高。

对于尺寸较大的工件，可在卧式铣床上用面铣刀铣削（见图7-38）。只要机床有足够的精度，工作台面与工件基准面保持清洁，并且基准面的接触面积大，就可免除夹具本身引起的误差。因此，采用这种加工方法，不仅操作简便，而且能保证垂直度。

（4）铣削垂直面的质量分析 铣削垂直面出现的质量问题主要有三个方面，即平面度误差、垂直度误差及加工表面粗糙度问题。分析如下：

1）平面度误差。铣刀刀齿的旋转母线跳动误差大，直接影响平面的加工质量。通常，

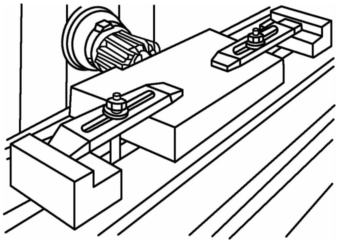


图 7-38　用面铣刀铣削工件垂直面

圆柱铣刀的径向跳动量不应超过 0.03mm；用面铣刀端面刀齿切削时，端面跳动量不得超过 0.02mm。圆柱铣刀径向跳动量可用指示表检验，见图 7-39。

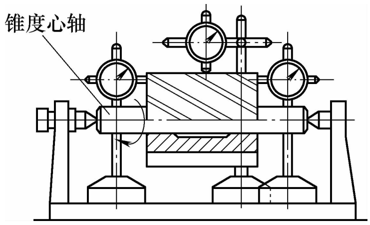


图 7-39　用指示表检验圆柱铣刀径向跳动量

检验时，让铣刀慢慢反转，指示表在各刀齿切削刃处最高点的最大读数和最低点的最小读数就是铣刀的径向跳动量；检验面铣刀时，令指示表的测头抵住端面刀齿，检验方法相同。

造成铣刀刀齿旋转母线的跳动误差大的首要原因是铣刀的刃磨质量，如圆柱铣刀的圆柱度差，被磨成锥形、中凸形、中凹形；面铣刀的端齿跳动量大，则直接影响平面度；此外，卧式铣床铣刀杆弯曲变形、主轴径向跳动大或铣刀杆右端轴颈与支架孔的配合差；立式铣床主轴轴线与进给方向存在垂直度误差，也会影响加工平面的平面度。

2）加工平面上出现深啃槽。深啃槽就是在被切削表面上留下的深刀痕（见图 7-40）。为了避免出现这种不良现象，在铣削过程中，工作台不要中途突然停止进给；铣削完毕后，要降低工作台后再退刀；大走刀强力切削或精铣时，切削液要充分而均匀，不要突然中断；顺铣时一定要消除工作台丝杠和螺母之间的间隙，避免工作台突然窜动，以防止工件表面出现深啃槽。

3）垂直度误差。铣削垂直面时，垂直度超差的主要原因如下：

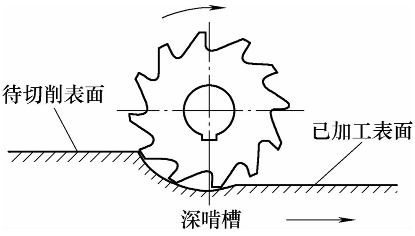


图 7-40　已加工表面的深啃槽

① 基准面质量差。当基准面较粗糙或平面度较差时，将在工件装夹中造成误差，造成铣出的垂直面达不到技术要求。

② 工件基准面与固定钳口不贴合。除应修去工件毛刺、擦尽基准面和固定钳口上的污物外，还应在活动钳口处放置一根圆棒或一条窄长而较厚的铜皮。

③ 在卧式铣床上用圆柱铣刀铣垂直面，或在立式铣床上用立铣刀铣削垂直面（见图 7-35、7-37）时，如果圆柱铣刀、立铣刀有锥度误差，必然影响工件的垂直度。因此，应刃磨铣刀，保证其圆柱度符合要求。

④ 机用虎钳的固定钳口与铣床工作台台面不垂直。造成这种情况的原因除了因机用虎钳安装和校正不好外，还有装夹工件时夹紧力过大。这可能会使机用虎钳变形，导致固定钳口外倾，而使机用虎钳定位精度下降。因此在夹紧工件时，不应接长机用虎钳夹紧手柄，也不能用手锤猛击手柄，尤其在精铣时的夹紧力不宜过大。

⑤ 用立铣刀铣垂直面时（见图 7-37），如铣刀直径偏小，切削时产生振动或摆动，常会引起垂直度超差。

4）加工表面的表面粗糙度。引起加工表面粗糙度值偏大的主要原因如下：

① 铣削用量偏大，如每齿进给量太大，应适当减小。

② 铣刀磨钝或铣刀跳动量大，可用油石研磨刃口，降低刀面表面粗糙度值；检查铣刀刀齿跳动量，必要时应刃磨或更换刀片，保持刃口锋利。

③ 铣削时有振动现象，引起的原因有在纵向或垂直进给铣削时，横向工作台制动手柄未锁紧，切削时工作台移动位置，机床工作台

导轨间隙过大；铣床主轴轴承松动，主轴有径向跳动和轴向窜动；卧式铣床右端轴颈与支架孔配合的间隙过大；顺铣时工作台丝杠、螺母间隙过大，铣削时工作台突然窜动；积屑瘤的存在；切削液供给不当等。此外，在铣削韧性较大的有色金属工件时，应适当增大刀齿的前角，以便能减小加工表面粗糙度值。

2. 平行面的铣削

铣削平行面，可以在立式铣床或卧式铣床上用端铣法或周铣法进行铣削，可以在机用虎钳或工作台面上进行装夹。这和工件上基准面和工作台面的相互位置直接有关，即装夹时应使工件的基准面与工作台台面平行或垂直。具体方法如下：

（1）工件在机用虎钳中装夹

1）如果工件上没有一个和基准面相垂直的面作为定位基准，则需用机用虎钳的水平导轨作主要的定位支承面，此时应在两钳口中放置圆棒（见图7-41）。夹紧工件时，可用铜锤轻轻敲打工件顶面（见图7-42），使工件基准面与机用虎钳水平导轨面贴紧，从而和工作台面平行。由于这种方法装夹不够稳固，适用于精铣平行面。

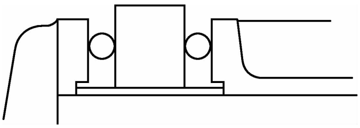


图7-41 用两根圆棒装夹工件

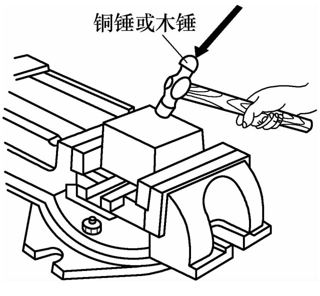


图7-42 用铜锤（或木榧）轻敲工件

2）如果工件上有垂直于基准面的平面作定位表面时，由于机用虎钳的水平导轨面与固定钳口面相垂直，且与机用虎钳底面平行，则可用该平面与固定钳口贴合，然后用铜锤（或木锤）轻敲顶面（见图7-42），使工件基准面与机用虎钳导轨面贴合，这样铣出的工件顶面即与基准面平行。如果工件的厚度小于钳口的高度，可在工件下面垫上厚度合适且经过磨削的平行垫铁（见图7-43）。

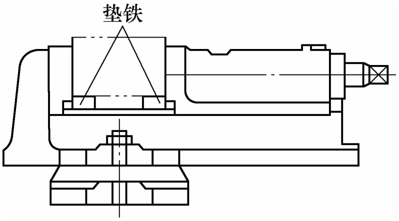


图7-43 用垫铁垫高工件

（2）工件在工作台上装夹

1）当工件上有垂直于基准面的平面时，可采用定位块使基准面与工作台面垂直，并与进给方向平行，这样用面铣刀在卧式铣床上铣出的平面即为平行面，见图7-44。必须指出，用这种方法装夹工件加工平行面时，与垂直面的精度关系密切，故加工前应预先检查其垂直度。

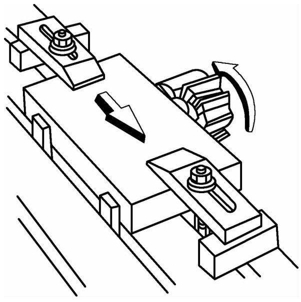


图7-44 用定位块装夹工件铣平行面

2）如工件上有压板压紧位置时，则可将工件直接装夹在工作台上（见图7-45），使基准面与工作台面贴合，这样铣削平行面既方便又精确。

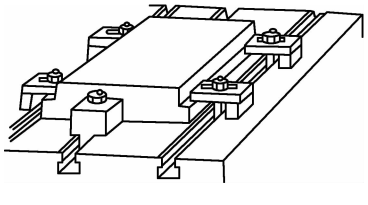


图7-45 将工件直接装夹在工作台上

此外，在卧式铣床上用组合铣刀铣削平行面，可一次铣出两个平面，并且两平面相互平行（见图7-2）。

(3) 造成平行度误差的原因　铣削平行面时，造成平行度误差的原因主要有以下几点：

1) 基准面或工作台台面未擦净。

2) 用机用虎钳装夹时，虎钳导轨面与工作台台面不平行，或平行垫铁不平行，基准面与平行垫铁贴合不好。

3) 工件上和固定钳口贴合的平面与其基准面的垂直面误差大。

4) 机用虎钳的固定钳口面与工作台台面不垂直。

5) 立式铣床主轴"零位"不准或万能卧式铣床工作台"零位"不准。

6) 周铣时，铣刀的圆柱度差或铣刀有锥度。

7) 在卧式铣床周铣时，铣刀刀杆与工作台台面不平行。

8) 端铣时，进给方向与铣床主轴轴线不垂直。

3. 铣削矩形工件

图7-46所示的矩形工件是铣削垂直面和平行面的典型工件，其加工步骤如下：

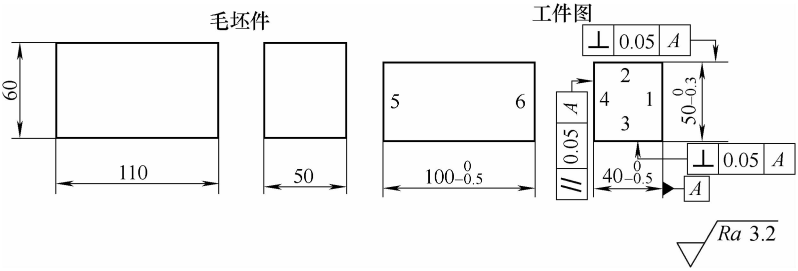


图7-46　矩形工件（材料：HT150）

(1) 加工图样分析　工件以 A 面（1面）为基准，各相邻表面有垂直度要求，各相对面有平行度要求，并有一定的尺寸精度要求。各表面的表面粗糙度值均为 $Ra3.2\mu m$。工件的材料为铸铁，各表面的铣削余量为5mm，工件数量为5件。

(2) 工件的装夹　本工件可用规格适宜的机用虎钳装夹。

(3) 铣刀的选择　面铣刀的直径可按下式计算：

$$D_0 = (1.2 \sim 1.6)B$$

式中　D_0——铣刀直径（mm）；

B——铣削层宽度（mm）。

根据工件尺寸和材料，可选用直径80mm的面铣刀。铣刀切削部分材料一般用高速钢，大型机夹式面铣刀的刀片常用硬质合金。如采用圆柱铣刀加工，可用高速钢粗齿圆柱铣刀粗铣，再用细齿铣刀精铣。

(4) 铣削用量的选择

1) 用高速钢面铣刀铣削。

① 侧刀吃刀量 a_e：根据工件宽度决定。

② 背吃刀量 a_p：粗铣时为4~4.5mm；精铣时为0.5~1mm。

③ 每齿进给量 f_z：粗铣时，取 $f_z = 0.10mm/z$；精铣时，取 $f_z = 0.05mm/z$。

④ 铣削速度 v_c：粗铣时，取 $v_c = 16m/min$；精铣时，取 $v_c = 20m/min$。

2) 用硬质合金面铣刀铣削。

① 背吃刀量 a_p：取5mm。

② 每齿进给量 f_z：取0.15mm/z。

③ 铣削速度 v_c：取80m/min。

(5) 机用虎钳在铣床上的安装与找正　在铣床上安装机用虎钳，通常应使钳口与工作台纵向运动或横向运动方向一致。但在立式铣床上铣平面时，机用虎钳钳口不应与工作台横向运动方向一致（见图7-47a），否则操作者装卸工件和松紧机用虎钳手柄时，需要在铣刀左、右两侧来回活动，很不安全。特别是在不停车操作时，更容易发生铣刀伤害事故。因此，安装机用虎钳时，钳口应与工作台纵向运动方向一致，操作者可在铣刀左侧进行操作，既安全又方便（见图7-47b）。

常用的找正机用虎钳钳口的方法有三种。图7-48a所示为用指示表找正。首先把带有指示表的弯杆用固定环压紧在刀轴上，或将带有磁性表座的指示表吸附在悬梁导轨或垂直导轨

上，并且使机用虎钳的固定钳口接触指示表的测头。然后将工作台纵向或横向运动，并调整机用虎钳位置，使指示表上指针的摆差在允许的范围内，找正好后，就可将机用虎钳的位置固定下来。在精度要求不高时，也可用划针或角尺来找正（见图7-48b、c）。

机用虎钳的底部一般都有键槽。装入键以后，再把键嵌入工作台的T形槽内，使钳口与工作台纵向平行或垂直。用这种方法找正简便、准确、牢靠。

（6）矩形工件的铣削顺序　为了保证工件各表面之间的平行度和垂直度，矩形工件的铣削顺序见图7-49a～f，依次铣削1～6面。应先加工基准面A（1面），因为A面是铣削其他各个平面的定位基准，通常要求它具有较好的平面度和较小的表面粗糙度值。接着以1面为基准，铣削2面和3面，并且保证与1面垂直。然后仍以1面为基准铣削4面。在铣削时，应保证与其相对平面的平行度和尺寸公差，尤其在精铣时更应注意。铣削5面时，为

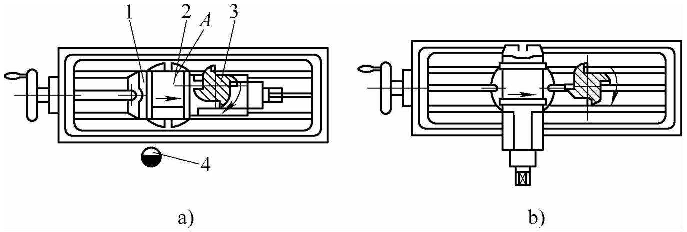


图7-47　机用虎钳在立铣床上的位置

a）不正确　b）正确

1—平口钳　2—工件　3—铣刀　4—操作者位置

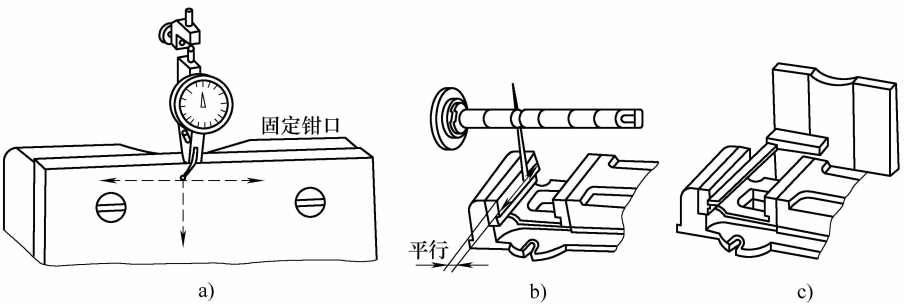


图7-48　找正机用虎钳的方法

a）用指示表找正　b）用划针找正　c）用角尺找正

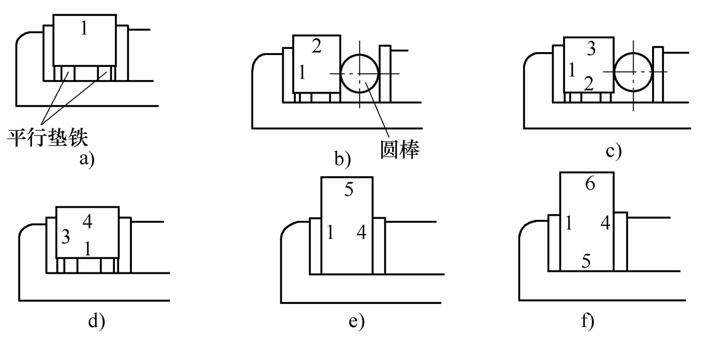


图7-49　矩形工件的铣削顺序

a）铣1面　b）铣2面　c）铣3面　d）铣4面　e）铣5面　f）铣6面

了保证其与1面、2面都垂直，除了使1面与机用虎钳固定钳口相贴合外，还要用角尺找正2面对工作台台面的垂直度（见图7-50）。找正方法是用角尺的一面与机用虎钳水平导轨贴合，另一面与工件的2面贴合。用这一方法铣削端面时，每个工件都要用角尺找正，比较费时，故在批量生产中，可在卧式铣床上用面铣刀铣削端面（见图7-51）。加工前，应把固定钳口找正得与工作台纵向进给方向垂直，在工件下面垫上平行垫铁（或不垫），使基准面A（1）紧贴平行垫铁（或机用虎钳导轨），侧面（2面）紧贴固定钳口，即可铣削出符合要求的端面。这样就不需要每一件都找正，且容易保证质量。此外，工件端面处还可以装一个弯头挡铁，以控制工件长度的加工尺寸。最后铣削6面，并保证工件的长度尺寸。

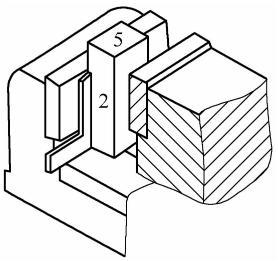


图7-50 铣5面时工件位置的校正

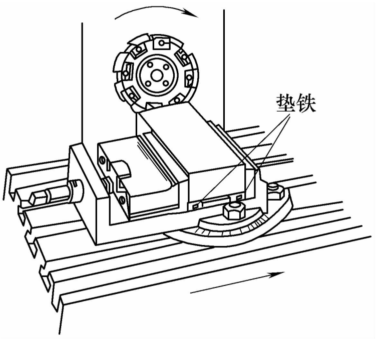


图7-51 在卧式铣床上用面铣刀铣削端面

精铣与粗铣矩形工件的加工顺序相同，粗铣除应切去大部分余量外，对工件的平行度、垂直度都要有所保证，以便确保精铣质量。此外，5件工件可全部铣好第一面后，然后依次加工。这样不仅操作比较简便，有利于提高生产率，而且工件质量的一致性也较好。

4. 平面的检验

（1）平面度的检验 对于较小的平面，可用刀口形直尺测量平面各个方向的直线度（见图7-52a），若各个方向的直线度都在公差范围内，则工件的平面度符合图样要求；对于较大的平面，可在标准平板上用三个千斤顶将工件顶起，用指示表找正千斤顶上方的三点等高，然后测量平面上的其他点（见图7-52b），若指示表示值的变动量在平面度公差值范围内，则平面度符合要求。

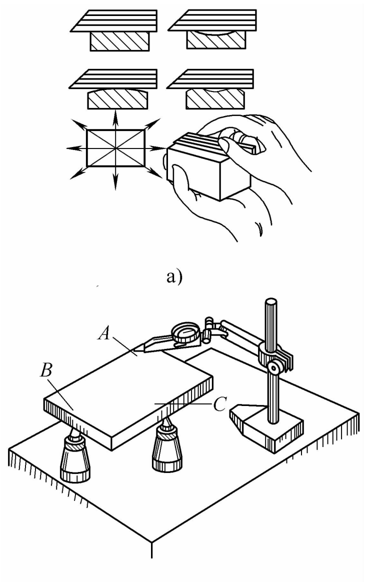


图7-52 平面度检验

a）用刀口形直尺测量

b）用三点定平面原理测量

（2）平行度及尺寸精度的检验 用图7-53所示的方法，可以同时检验工件的平行度和尺寸精度。检验时，把工件放在指示表下移动，根据指示表的读数，便可测出工件的尺寸误差和平行度误差。若用游标卡尺或外径千分尺测量工件的四角及中部，记录各部分尺寸的差值，即是工件的平行度误差。

（3）垂直度的检验

1）用直角尺和塞尺测量。对于较小的平面，垂直度检验可用直角尺和塞尺配合进行（见图7-54a）；对于较大平面的垂直度测量，可将工件基准面与标准平板贴合，然后用规格较大的直角尺和塞尺配合进行测量，塞尺的厚

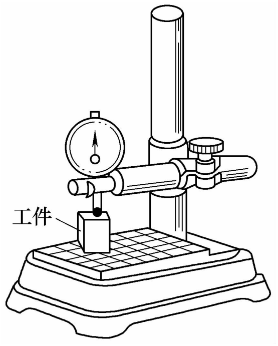
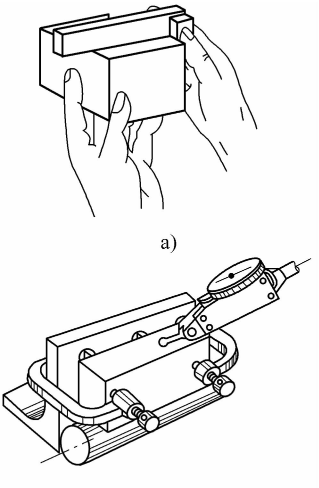


图7-53 采用指示表检验工件的平行度和尺寸精度

度规格按垂直度的公差确定。



a)

b)

图7-54 垂直度检验

a）直角尺和塞尺测量

b）角铁和指示表测量

2）在平板上用指示表测量。对于垂直度精度要求较高的工件，检验方法是把标准角铁放在平板上，工件用C形夹夹在角铁上，工件下面垫以圆棒，用指示表测量，见图7-54b。

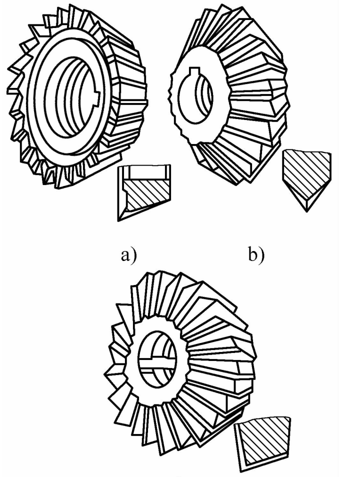
（4）表面粗糙度的检验　表面粗糙度可通过目测类比法进行检验（参考表6-39）。

7.3.2 斜面铣削

1. 单斜面铣削

单斜面是指仅在一个方向上与基准面成倾斜的平面。斜面与基准面之间相交成一定的角度。铣削单斜面，实质上也是铣削平面，只是需要把铣刀或工件倾斜一个角度，或者用角度铣刀铣削。各种斜面铣削方式分述如下：

（1）用角度铣刀铣削斜面　角度铣刀有单角铣刀和双角铣刀（见图7-55），一般只用来铣削较窄的斜面（见图7-56）。铣出斜面的倾斜角度由铣刀的角度保证。由于角度铣刀的刀齿强度较差，容屑槽也小，因此铣削时应选取较小的铣削用量，尤其是每齿进给量更要适当地减少。在铣削钢件时，应供给足够的切削液，以避免刀具严重磨损。在工件数量较多的情况下，为了提高生产率和保证加工质量，可以用两把规格相同、切削刃相反的单角铣刀组合铣削工件上的两个对称斜面（见图7-57）。



a)　b)

c)

图7-55 角度铣刀

a）单角铣刀　b）对称双角铣刀

c）不对称双角铣刀

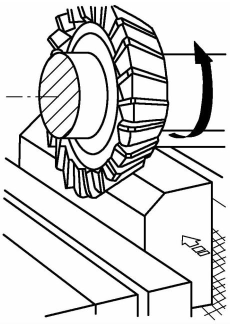


图7-56 用一把单角铣刀铣削斜面

（2）转动立铣头倾斜铣刀铣斜面　在铣头可以回转的立式铣床上，可以用转动立铣头倾

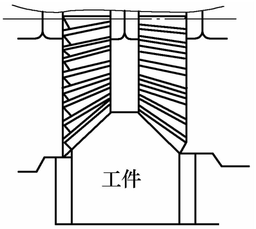


图 7-57　用两把规格相同、切削刃相反的单角铣刀组合铣削工件上的两个对称斜面

斜铣刀来铣削斜面。图 7-58 所示为用立铣刀圆柱面切削刃倾斜铣削斜面，立铣头需转动的角度为 $\alpha=90°-\beta$（β 为工件倾角）。图 7-59 所示为用面铣刀倾斜铣削斜面，立铣头转动的角度 α 与工件倾角 β 相同，即 $\alpha=\beta$。实际加工中，根据工件角度的标注情况，立铣头的倾斜角度见表 7-10。

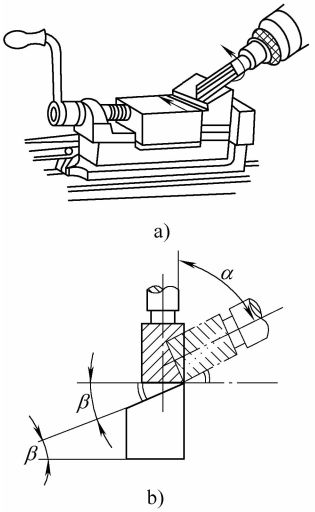


图 7-58　用立铣刀圆柱面切削刃倾斜铣削斜面

a）加工示意图　b）立铣头倾斜角度

（3）倾斜工件铣斜面

1）按划线找正工件（见图 7-60）。铣削斜面前，先要在工件上按图样要求划出斜面的轮廓线。对于尺寸不大的工件，可用机用虎钳装夹，用划针盘按划线找正与工作台台面平行，夹紧后即可进行铣削加工。若工件直接装夹在铣床工作台上，可将划针固定，移动工作台找正工件上的划线，使之与进给方向平行，然后用压板压紧工件，即可进行铣削加工。铣削时，先将大部分余量切除，精铣前应再用划针

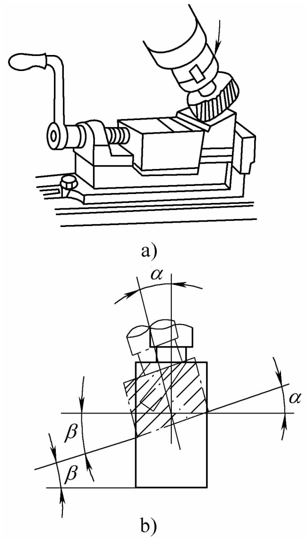
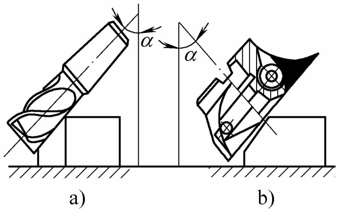
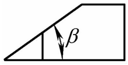
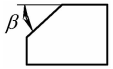
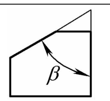
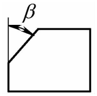
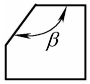
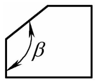


图 7-59　用面铣刀倾斜铣削斜面

a）加工示意图　b）面铣头倾斜角度

表 7-10　立铣头的倾斜角度



工件角度的标注形式	立铣头倾斜角度 α	
	用立铣刀周边铣削（见图 a）	用立铣刀或面铣刀平面铣削（见面 b）
	$\alpha=90°-\beta$	$\alpha=\beta$
	$\alpha=90°-\beta$	$\alpha=\beta$
	$\alpha=\beta$	$\alpha=90°-\beta$
	$\alpha=\beta$	$\alpha=90°-\beta$
	$\alpha=\beta-90°$	$\alpha=180°-\beta$
	$\alpha=180°-\beta$	$\alpha=\beta-90°$

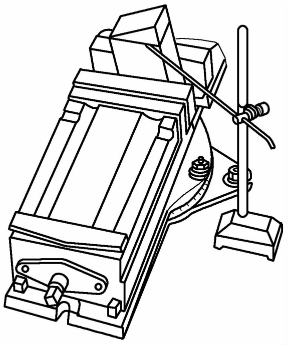


图 7-60 按划线找正工件

校验一次，若工件有走动，则应重新找正。铣削完毕后，工件上应留下全部样冲眼的一半。这种铣削方法划线、找正费时，只用于工件数量不多的情况。

2）用倾斜垫铁或专用夹具装夹工件。由图 7-61 可见，当倾斜垫铁的角度为 θ 时，铣削出的斜面倾斜角 $\alpha=\theta$。由于用倾斜垫铁装夹工件比较方便，因而在小批量生产中常常采用这种方法铣削斜面。当批量较大时，可用专用夹具装夹工件来铣削斜面。图 7-62 所示的专用夹具是在用倾斜垫铁铣削斜面的基础上改进而成的，其特点是一次可以加工两件或多件工件，有较高的生产率。

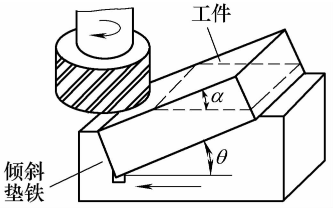


图 7-61 用倾斜垫铁或专用夹具装夹工件

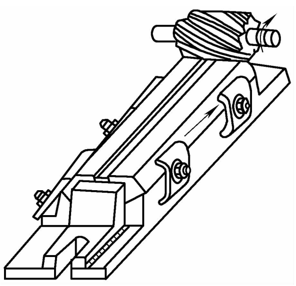


图 7-62 用专用夹具铣削斜面

3）用水平旋转台虎钳铣削斜面。如图 7-63 所示，台虎钳水平转动角度 α，由于加工平面垂直，故 $\alpha=90°-\beta$（β 为工件斜面与基准面之间的夹角）。

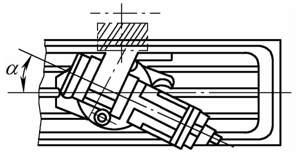


图 7-63 用水平旋转台虎钳铣削斜面

4）用可倾斜台虎钳或万能转台装夹工件。图 7-64 所示为用可倾斜台虎钳铣削斜面。这种台虎钳能分别绕水平轴和垂直轴旋转，根据铣削方式的不同，可以分别按照两个刻度盘旋转角度。台虎钳板转的角度 α，应根据斜面与基准面的夹角 β 以及装夹时工件基准面与加工平面的位置来确定。台虎钳在转角度前，基准面与加工平面总是处于相互垂直或平行两种位置。因此，当基准面与加工平面垂直时，$\alpha=90°-\beta$；当基准面与加工平面平行时，$\alpha=\beta$。由于绕水平轴旋转的可倾斜台虎钳刚性较差，故只适于加工尺寸较小的工件。

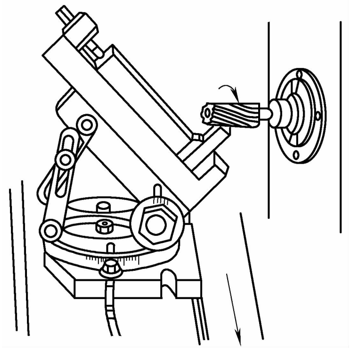


图 7-64 用可倾斜台虎钳铣削斜面

图 7-65 所示为用万能转台铣削斜面。由于万能转台的台面较大，具有 T 形槽，刚性好，故可以用来加工较大的工件。

5）用万能分度头铣削斜面。图 7-66 所示为用万能分度头铣削斜面。用万能分度头将工件转到所需位置铣削斜面，常用于小型圆柱形工件上斜面的铣削。

2. 复合斜面的铣削

在两个方向上与基准面成倾斜的平面称为复合斜面，见图 7-67。平面 $ABCD$ 在两个相互垂直的方向上与底平面（基准面）分别倾斜 α_z 和 α_y 角，即平面 $ABCD$ 就是一个复合斜面。

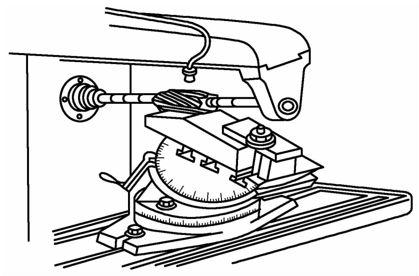
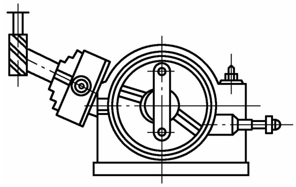
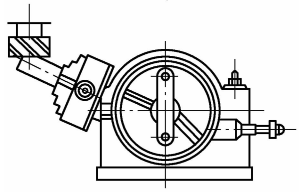


图 7-65 用万能转台铣削斜面



a)



b)

图 7-66 用万能分度头铣削斜面

a）用立铣刀铣削 b）用面铣刀铣削

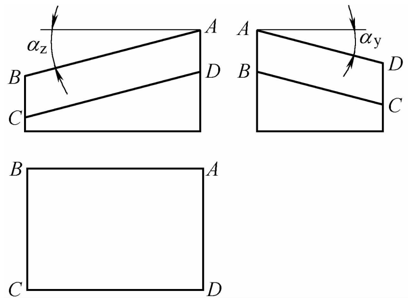


图 7-67 复合斜面

铣削单斜面时，只需一次旋转工件或刀具；铣削上述复合斜面，则需要工件及刀具单独或配合完成两次旋转，其旋转角度的数值需通过必要的计算。基本原理如下：

如图 7-68 所示，将复合斜面 $ABCD$ 置于空间直角坐标系 $OXYZ$ 中，并将其延长与 OXY 平面相交于直线 EF。过直线 OF 作垂直于 AB 的剖面 OFG，与复合斜面相交，得直线 GF。GF 与 OF 之间的夹角 ω_y 称为 OY 方向的复合角。

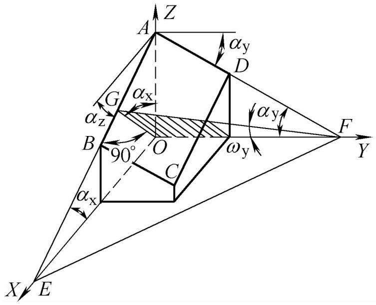


图 7-68 复合斜面的复合角

由图 7-68 中的几何关系可知：

在直角三角形 ΔAFO 中 $\tan\alpha_y = \dfrac{AO}{OF}$

在直角三角形 ΔGFO 中 $\tan\omega_y = \dfrac{GO}{OF}$

$$\therefore \quad \frac{\tan\omega_y}{\tan\alpha_y} = \frac{GO}{AO}$$

$$\because \quad \frac{GO}{AO} = \cos\alpha_x$$

$$\therefore \quad \tan\omega_y = \tan\alpha_y\cos\alpha_x$$

同理，复合斜面 $ABCD$ 在 OX 方向的复合角 ω_x 为

$$\tan\omega_x = \tan\alpha_x\cos\alpha_y$$

在确定了复合斜面的复合角 ω_y、ω_x 和图样上的 α_x、α_y 后，应依据下述原则调整工件位置：先使工件绕与 OY（或 OX）平行的转轴转动 α_x（或 α_y）角（见图 7-69b），复合斜面 $ABCD$ 已变成在 OY（或 OX）方向倾斜复合角 ω_y（或 ω_x）的单斜面；若再将工件绕与 OX（或 OY）平行的转轴转动 ω_y（或 ω_x）角，则复合斜面 $ABCD$ 将平行于空间直角坐标系中的基准面 OXY（见图 7-69c），此时，即可按铣削一般平面的方法来加工复合斜面 $ABCD$。

铣削复合斜面时，可用多种方法调整工件位置，但必须遵循上述的基本原则，即必须先绕选定的转轴（如 OY）转原始倾角 α（α_x），再绕与第一轴（OY）相垂直的轴（如 OX）转动复合角 ω（ω_y）。

铣削复合斜面时，常用的工件调整方法有以下几种：

（1）用可倾斜台虎钳铣削复合斜面（见图 7-70） 工件在可倾斜台虎钳上装夹时，应先

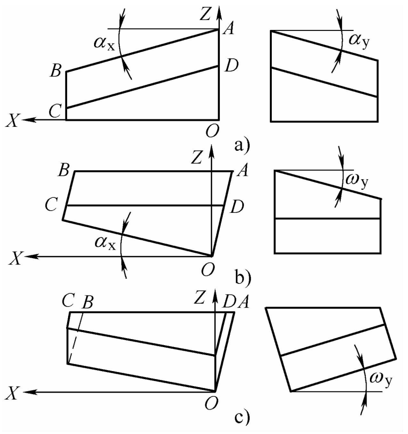


图 7-69 铣复合斜面时工件位置调整

a）示意图一 b）示意图二 c）示意图三

绕水平转轴使台虎钳钳口转过原始倾角 α，再使可倾斜台虎钳绕垂直轴在水平面内转过复合角 ω。

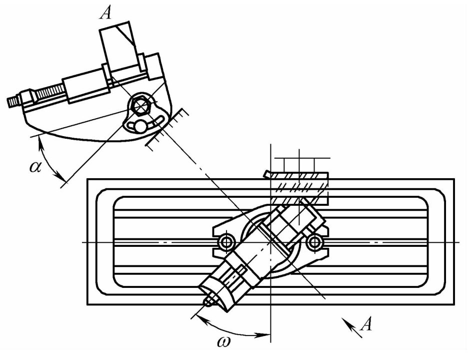


图 7-70 用可倾斜台虎钳铣复合斜面

（2）同时转动可倾斜台虎钳与立铣头铣削复合斜面（见图 7-71） 可倾斜台虎钳转动工件原始倾角 α，立铣头转动复合角 ω。

（3）用可倾斜台虎钳配合斜垫铁铣削复合斜面（见图 7-72） 先用斜垫铁使工件倾斜原始倾角 α，再使可倾斜台虎钳转动复合角 ω。

（4）用斜垫铁并转动立铣头铣削复合斜面（见图 7-73） 用斜垫铁使工件转动原始倾角 α，再令立铣头转动复合角 ω。

（5）用万能工具铣床铣削复合斜面 在万能工具铣床上利用三向旋转工作台调整工件位置，可以铣削复合斜面。

3. 斜面的检验与质量分析

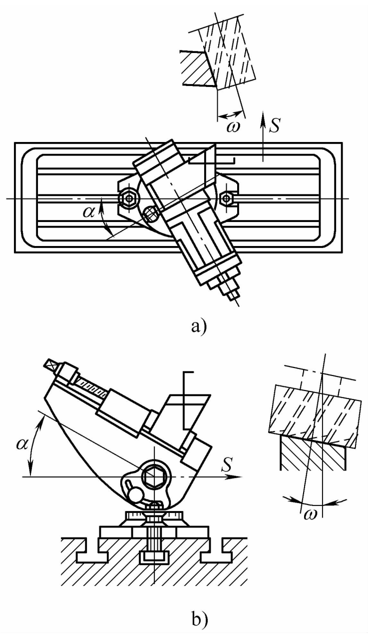


图 7-71 同时转动可倾斜台虎钳与立铣头铣削复合斜面

a）示意图一 b）示意图二

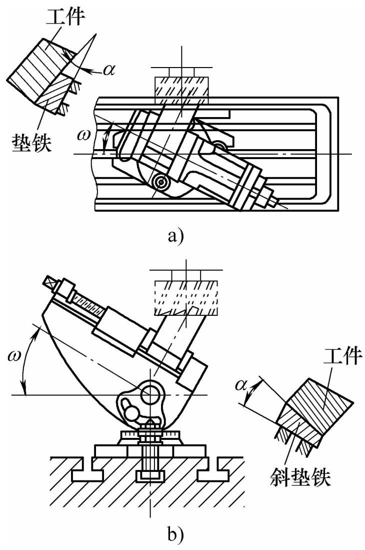


图 7-72 用可倾斜台虎钳配合斜垫铁铣削复合斜面

a）示意图一 b）示意图二

斜面检验除了一般平面的内容以外，还要检查斜面与基准面之间的夹角是否符合图样要求。一般的工件可用游标万能角度尺进行检

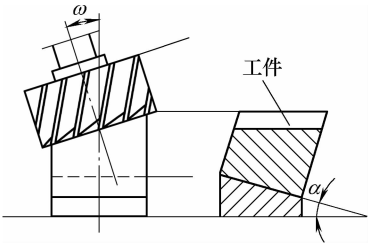


图 7-73 用斜垫铁并转动立铣头铣削复合斜面

测。图 7-74 所示为用游标万能角度尺测量斜面的角度。测量时，将游标万能角度尺测量面之间的角度，调整到和工件斜面角度相同，令角度尺测量面与工件斜面、基准面贴合，然后将角度尺的读数与图样要求比较，以确定斜面加工的角度误差。当工件精度要求较高时，可用正弦规进行测量，测量方法见图 4-24 及相关说明。当工件批量较大时，可采用角度样板检验。

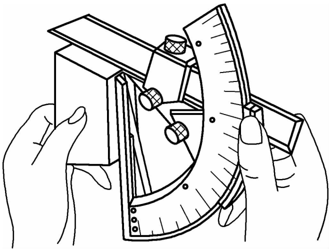


图 7-74 用游标万能角度尺测量斜面的角度

铣削斜面时，通常出现的问题是角度误差，其主要原因如下：

1）工件装夹不良，如夹具与工件、夹具与工作台之间有杂物或毛刺；工件装夹不稳固，在铣削过程中产生走动。

2）工件划线不准确。

3）万能台虎钳、转台或立铣头、分度头扳转角度不准确。

4）采用周铣时，铣刀有锥度。

7.3.3 台阶工件的铣削

阶梯垫铁、T 形键等是铣削加工中常见的台阶工件，其基本型式见图 7-75。台阶由水平面和垂直面所组成，其加工的基本要求如下：

（1）尺寸精度 包括台阶面的宽度和台阶高度尺寸的精度要求。

（2）形状和位置精度 包括各表面的平面度、各平行平面之间的平行度和各垂直面之间的垂直度的要求。对于对称台阶，还有对称度要求。

（3）表面粗糙度 按台阶的使用要求，各表面具有相应的表面粗糙度要求。

对于尺寸不大的台阶（宽度 <25mm），可在卧式铣床上用三面刃铣刀铣削；对于尺寸较较大的台阶，常在立式铣床上用面铣刀或立铣刀来铣削，可提高生产率。

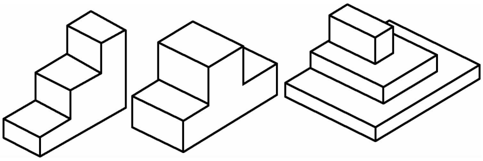


图 7-75 台阶工件的基本型式

1. 用三面刃铣刀铣削台阶

（1）铣刀的选择 三面刃铣刀的宽度应大于台阶的宽度，铣刀的直径按下式确定（见图 7-76）：

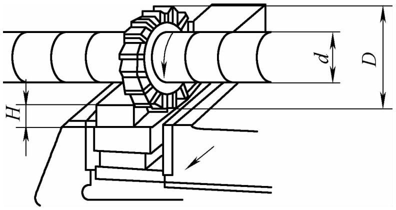


图 7-76 铣刀直径的确定

$$D > 2H + d$$

式中 D——铣刀的直径（mm）；

H——台阶的深度（mm）；

d——刀轴垫圈的直径（mm）。

（2）工件的装夹与校正 用机用虎钳装夹工件时（见图 7-76），应校正固定钳口与铣床主轴轴线垂直。工件的侧面应装向固定钳口，工件底面靠向钳体导轨平面，铣削的台阶平面应高出钳口的上平面，必要时可在工件底面加平行垫铁。

（3）铣削方法 现以图 7-77 所示的对称台阶工件为例，介绍台阶铣削的方法：

1）对刀和左侧台阶的粗铣。

① 侧面横向对刀，在工件一侧贴薄纸，使三面刃铣刀的侧刃刚好擦到工件的侧面

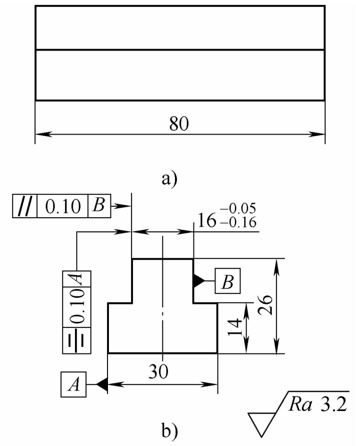


图 7-77　对称台阶工件

a）零件简图　b）对称台阶工件工艺图

（见图 7-78）。在工作台横向刻度盘上作记号，根据预制的矩形件宽度尺寸为 30mm（见图 7-77b），故一侧粗铣量为 6.5mm（留精铣余量 0.5mm），工作台横向调整量为 6.5mm。

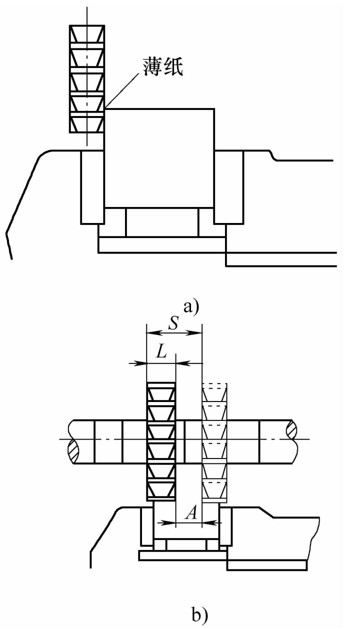


图 7-78　铣削对称台阶的调整

a）侧面对刀　b）另一侧横向位移尺寸

② 上平面垂直方向对刀，在工件上平面贴薄纸，使三面刃铣刀的周刃刚好擦到工件上平面。由图 7-77b 可见，台阶深度方向的粗铣量为 11.5mm（留 0.5mm 精铣余量）。在工作台垂直方向的刻度盘上作记号，并调整垂向工作台使工件上升 11.5mm。

③ 粗铣左侧面时，应注意紧固工作台（横向、垂向）。此外，由于工件的夹紧面积较小，铣刀切入时工件易被拉起，此时可用手动进给缓慢切入，待切削比较平稳时，再使用自动进给。

2）左侧台阶的精铣。

粗铣后，检验台阶的宽度和深度尺寸，并根据检验结果确定台阶宽度和深度的精铣余量；然后按精铣余量的数值，分别令工作台作横向及垂向的准确调整。精铣时，为保证工件的表面质量，全程使用自动进给。

3）右侧台阶的铣削。

铣削右侧台阶时，需将工作台横向移动刀具宽度 L 和键宽 A 尺寸之和；此外，粗铣时应留 0.5mm 的精铣余量。故工作台横向移动的距离 S 为

$$S = L + A + 0.5$$

按计算值 S 横向移动工作台（见图 7-78b），即可对右侧台阶进行粗铣和精铣，其调整方法及注意事项与铣削左侧台阶相同。

2. 用组合铣刀铣削台阶

用组合铣刀铣削台阶（见图 7-79），应选用两把直径相同的三面刃铣刀，中间用垫圈隔开。用游标卡尺测量、调整两把三面刃铣刀内侧的距离，一般应等于凸台的宽度。考虑铣刀旋转时摆差的影响，可以使组合铣刀内侧距离的尺寸增大 0.05 ~ 0.1mm，但不允许小于实际需要的尺寸。

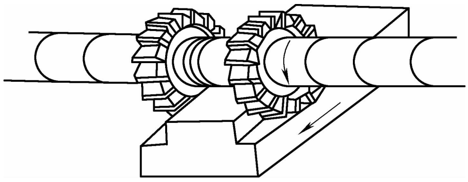


图 7-79　用组合铣刀铣削台阶

3. 用立铣刀铣削台阶

图 7-80 所示为用立铣刀铣削台阶。较深的台阶宜用立铣刀铣削。

4. 用面铣刀铣削台阶

图 7-81 所示为用面铣刀铣削台阶。深度较浅、宽度较大的台阶可用面铣刀铣削。

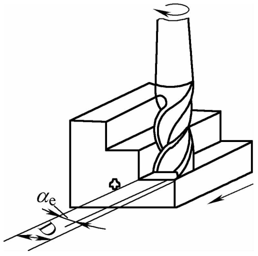


图 7-80　用立铣刀铣削台阶

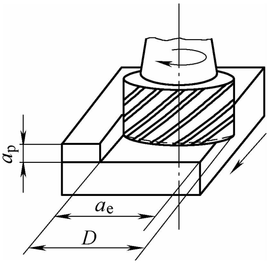


图 7-81　用面铣刀铣削台阶

5. 台阶的检测

对于一般精度的台阶类零件，可用游标卡尺检验各部位尺寸。对于精度要求较高的工件，可用外径千分尺和深度千分尺分别检验宽度和深度尺寸。用指示表和平板测量台阶侧面对基准面的平行度，并可用工件翻身法检测台阶侧面对工件宽度的对称度（见图 4-21a）。

6. 台阶铣削的质量分析

台阶铣削出现的质量问题及产生原因见表 7-11。

表 7-11　台阶铣削出现的质量问题及产生原因

质量问题	产生原因
尺寸公差超差	1）工作台“零位”不准，使台阶上部尺寸变小 2）铣刀有摆差 3）测量不准 4）铣刀宽度（或直径）的尺寸不准 5）工作台移动尺寸时摇得不准
几何公差超差	1）工作台零位不准，使台阶上窄下宽（见图 7-82） 2）夹具和工件未校正，使台阶侧面与工件外形侧面不平行（见图 7-83） 3）铣削时有“让刀”现象
表面粗糙度不符合要求	1）铣刀磨损变钝 2）铣刀摆差太大 3）铣削用量选择不当 4）切削液使用不当 5）铣削时振动太大

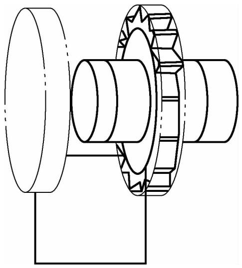


图 7-82　工作台零位不准

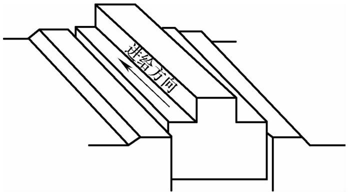


图 7-83　台阶侧面与工件外形侧面不平行

7.3.4　沟槽的铣削

沟槽一般分为直角沟槽、轴上键槽、V 形槽、T 形槽、燕尾槽等几类。

1. 铣削直角沟槽

直角沟槽有直通槽、半通槽和封闭槽（见图 7-84）。

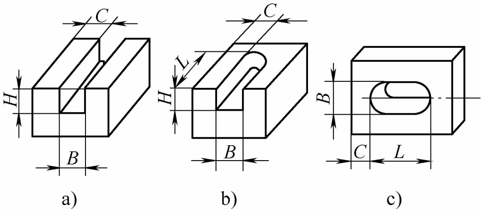


图 7-84　直角沟槽的种类

a）通槽　b）半通槽　c）封闭槽

（1）用三面刃铣刀铣削直通槽　如图 7-85 所示，三面刃铣刀适于加工宽度较窄、深度较深的通槽。

1）铣刀的选择与检测。三面刃铣刀的直

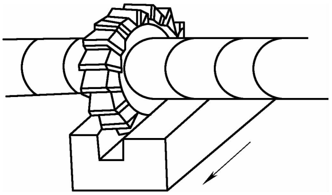


图 7-85 用三面刃铣刀铣削直通槽

径 D 应大于刀轴垫圈的直径 d 加两倍的沟槽深度 H（即 $D>2H+d$），见图 7-76。三面刃铣刀的宽度 B 应等于或小于被加工沟槽的宽度。多次进给铣削直通槽时，应选后者。

铣刀安装后，其径向和端面圆跳动直接影响槽的加工精度。对于要求不高的槽，可用目测法测量；而对于精度要求较高的槽，可用指示表测量（见图 7-86）。

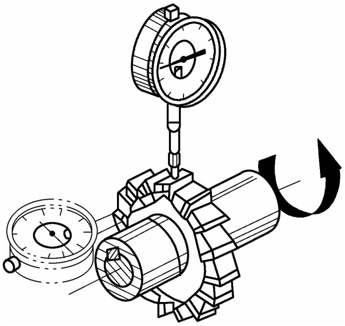


图 7-86 用指示表测量三面刃铣刀径向和端面圆跳动

2）工件的装夹与找正。工件一般用机用虎钳装夹。在窄而长的工件上铣削长的直角沟槽时，机用虎钳的固定钳口应与工作台纵向运动方向平行（见图 7-87a）；而铣削短的直角沟槽时，固定钳口则应与工作台纵向运动方向垂直（见图 7-87b）。

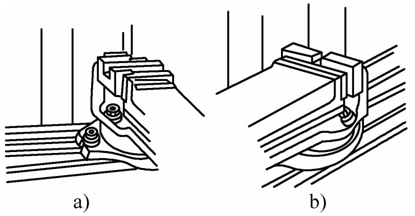


图 7-87 铣削直角沟槽时机用虎钳的安装

a）固定钳口与铣床工作台纵向运动方向平行

b）固定钳口与铣床工作台纵向运动方向垂直

3）对刀方法。

① 按划线侧刃对刀。调整工作台使铣刀处于铣削位置上方，目测铣刀两侧刃与槽宽参照线距离相等（见图 7-88a），开动机床使工作台垂直缓慢上升试铣切痕，停机垂向退刀后，目测切痕是否在槽宽参照线中间（见图 7-88b）。若有偏差，微量横向调整工作台，使切痕位于划线中间。

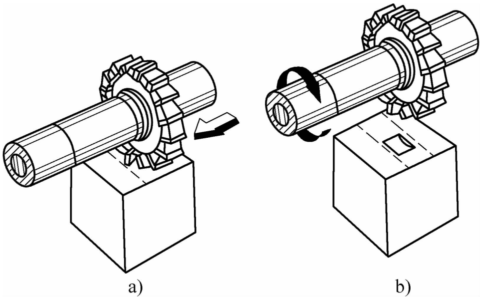


图 7-88 按划线侧刃对刀

a）目测铣刀位置 b）目测切痕位置

② 在工件上平面对刀。使三面刃铣刀的圆周刃恰好擦到工件上平面，在垂向刻度盘上作记号，然后按工件槽的深度尺寸调整工件台垂向上升的距离。

4）铣削步骤。如铣削开式直角沟槽零件（见图 7-89），其铣削步骤如下：

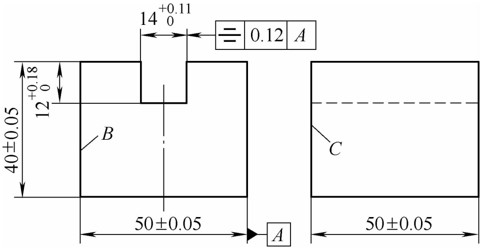


图 7-89 开式直角沟槽零件

① 铣削中间槽。由图样可知，槽深为 12mm，故铣削中间槽工作台垂向上移距离为 11.5mm，即留精铣余量 0.5mm。此外，应注意横向紧固工作台（见图 9-90a）。

② 精铣直角沟槽 Ⅰ 侧。按检测尺寸，调整工作台垂向升高距离和横向移动距离，精铣直角槽 Ⅰ 侧，全程使用自动进给（见图 7-90b）。

③ 精铣直角沟槽 Ⅱ 侧。按检测尺寸准确横向移动工作台，精铣直角槽 Ⅱ 侧，直至槽宽符合图样要求（见图 7-90c）。

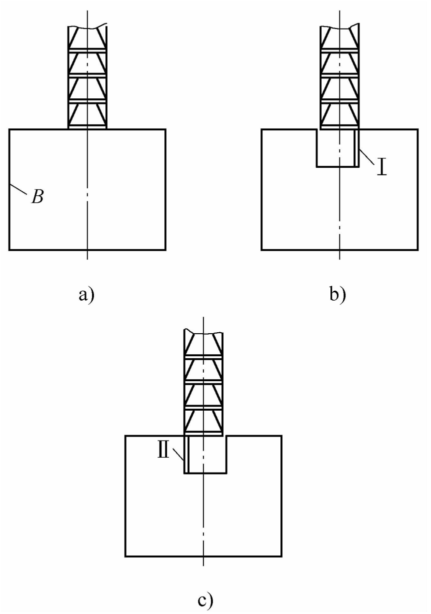


图 7-90 多次进给铣削直角沟槽的步骤

a）铣削中间槽 b）精铣直角沟槽Ⅰ侧

c）精铣直角沟槽Ⅱ侧

必须指出，三面刃铣刀直径大、齿数多、刚性好以及具有较好的排屑和散热条件，因此，刀具的寿命较高，加工出的槽侧面的表面粗糙度值较小并有较好的直线度。故对于直通槽或槽底允许保留铣刀圆弧的半通槽，应尽可能选用三面刃铣刀来加工。

（2）用立铣刀铣削半通槽和封闭槽 立铣刀的直径较小，刚性、散热条件均不及三面刃铣刀，故刀具寿命和生产效率较低。但立铣刀可以铣削三面刃铣刀无法铣削的半通槽、封闭槽以及折线或曲线形直角沟槽。图 7-91 所示为用立铣刀铣削半通槽。所选用立铣刀的直径应等于或小于沟槽的宽度。当沟槽较深时，刀具等分数次进给，铣至要求的槽深，以免损坏刀具。铣削时，只允许由沟槽外端铣向沟槽的里端，不能来回切削。

用立铣刀铣削穿通的封闭槽（见图 7-84c），铣削前应在工件上划出沟槽的尺寸位置线，并在沟槽长度线内的一端预钻出一个小于槽宽的落刀孔（见图 7-92a）。图 7-93 所示为用立铣刀铣削门形直角槽。

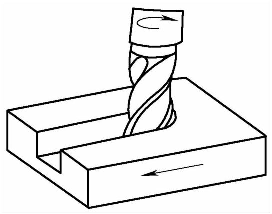


图 7-91 用立铣刀铣削半通槽

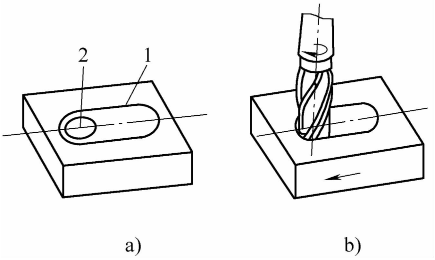


图 7-92 用立铣刀铣削封闭槽

a）工件外形 b）铣削操作

1—沟槽加工线 2—预钻的落刀孔

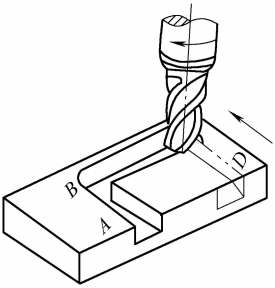


图 7-93 用立铣刀铣削门形直角槽

（3）用键槽铣刀铣削半通槽和封闭槽 对于精度要求较高、深度较浅的半通槽和封闭槽，可用键槽铣刀铣削（见图 7-94）。

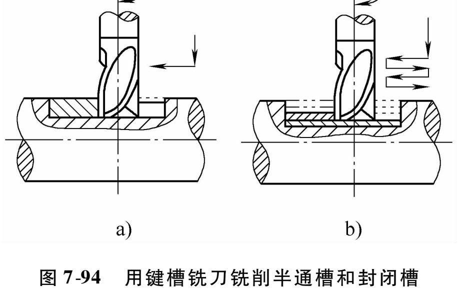


图 7-94 用键槽铣刀铣削半通槽和封闭槽

a）一次铣准深度法 b）分层铣削法

（4）用组合铣刀铣削直角沟槽 成批加工宽度较大的直角沟槽时，可采用组合铣刀（见图 7-95）。它由两个半部铣刀镶合而成。这种

铣刀左半部分为左旋，右半部分为右旋。其切削性能比盘形槽铣刀好，更适宜于批量较大的生产。当铣刀刀齿因刃磨变窄时，中间可以加上垫圈或铜皮，使铣刀宽度增大到所需的尺寸。

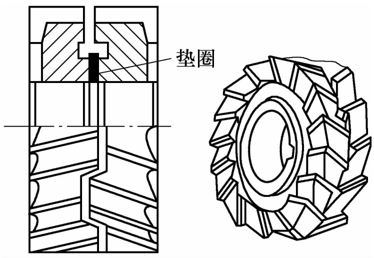


图7-95 组合铣刀

在铣削直角沟槽时，必须注意以下问题：

1）用三面刃铣刀铣削直角沟槽时，必须注意校正铣床工作台“零位”。若“零位”不准，则铣出的直角沟槽就会上宽下窄，且两侧呈弧形凹面（见图7-96）。

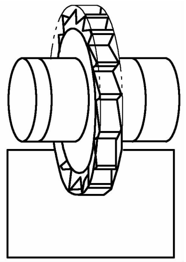


图7-96 工作台“零位”不准时对加工沟槽的影响

2）在直角沟槽铣削过程中，不能中途停止进给；铣刀在槽中旋转时，也不能退回工件。因为突然停止进给，铣刀切削时所受的切削力立即发生变化，必然会使铣刀在沟槽中的位置产生变动，从而导致沟槽尺寸的变动，影响直角沟槽的加工精度。

3）铣削直角沟槽时，必须控制铣刀的轴向（即端面）摆差，以防止沟槽的宽度尺寸超差。

4）铣削直角沟槽，尤其是加工窄而深的沟槽时，排屑困难、散热面积小，因此应分粗铣、精铣多次来完成槽的加工，并采用较小的切削用量和充分供给切削液。

5）立铣刀的强度和刚性较小，用其加工较深的直角沟槽时，应分层切削，进给量应比用三面刃铣刀铣削时小，以防止“让刀”而影响槽的精度。

6）铣削与基准面呈倾斜角度的直角沟槽时，必须先将沟槽校正到与进给方向平行的位置上，再进行加工，才能获得位置正确的直角沟槽。其校正方法参见7.3.2节。

2. 铣削轴上键槽

轴上平键槽常见的形式有封闭式（见图7-97a）、半封闭式（见图7-97b）和开式（见图7-97c）三种。其基本尺寸包括槽宽 B、槽深 H_1（或 H_2、H_3）和长度 L。尺寸 B、H_1（或 H_2、H_3）在垂直于轴线的截面中标出（见图7-98）。加工键槽时，除应保证槽宽、槽深的尺寸精度外，还需保证键槽对于工件中心线的对称度以及键槽在长度方向与轴母线的平行度。

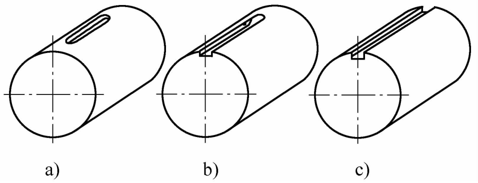


图7-97 轴上平键槽常见的形式
a）封闭式 b）半封闭式 c）开式

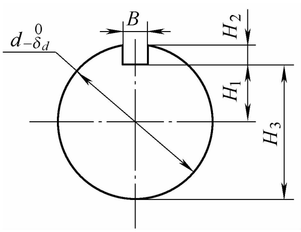


图7-98 键槽深度尺寸的标注方式

轴上键槽可以用盘形槽铣刀或键槽铣刀铣削，可以在卧式铣床或立式铣床上铣削。工件的装夹也有多种方法，需根据零件结构、加工要求等条件进行合理选择。

（1）铣刀的选择 铣削轴上开式键槽和槽底为圆弧的半封闭键槽时，一般采用盘形槽铣刀；铣削封闭式及槽底非圆弧的半封闭键槽时，一般用键槽铣刀加工。键槽的宽度由铣刀的宽度（盘形槽铣刀）或直径（键槽铣刀）来保证。铣削半封闭槽底为圆弧的键槽时，铣

刀半径应与图样上标注的槽底圆弧半径一致。

（2）工件的装夹与加工

1）用机用虎钳装夹。图 7-99 所示为在卧式铣床上用机用虎钳装夹加工开式键槽。图 7-100所示为在立式铣床上铣削封闭式键槽。必须指出，在批量生产中利用抱钳（轴用台虎钳）安装工件（见图 7-101），既可缩短装卸工件的时间，又有利于保证键槽的对称度，适用于小型零件的加工。

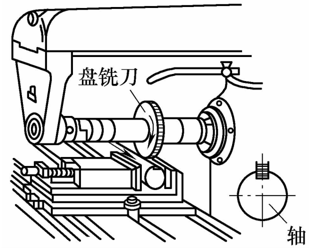


图 7-99　在卧式铣床上用机用虎钳装夹加工

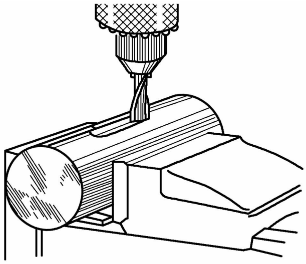


图 7-100　在立式铣床上铣削封闭式键槽

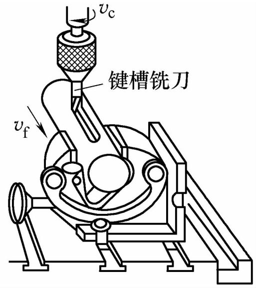


图 7-101　用抱钳安装铣封闭式键槽

2）在工作台上安装。对于大直径的轴，可将工件直接压紧在工作台上进行加工。图 7-102 所示为在用盘形槽铣刀铣削长轴上的键槽。

以上两种装夹方法，如键槽深度尺寸按 H_3 方式标注（见图 7-98），则定位基准、测量基准与设计基准重合，用调整法加工时，没有

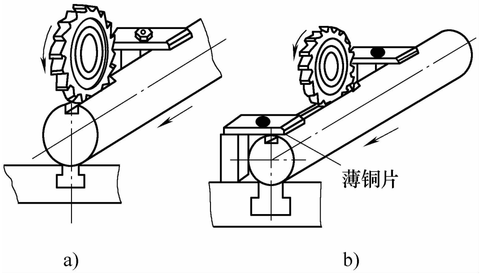


图 7-102　用盘形槽铣刀铣削长轴上的键槽

a）由工件端部铣出一段槽长

b）垫铜皮夹紧工件后完成铣削

基准不重合误差。

3）在分度头卡盘与尾顶尖间装夹。图 7-103所示为在卧式铣床上用分度头装夹铣削开式键槽。这种装夹方法如按调整法加工，由于其定位基准是工件的中心线，因此，键槽深度尺寸如按图 7-98 的方式标注 H_2 或 H_3，则定位基准、测量基准和设计基准都不重合，必将产生定位误差。若将工件中心线作为键槽深度尺寸的设计基准（标注 H_1），则无定位基准和设计基准不重合的误差，然而测量基准与设计基准不重合的误差仍然存在。通常用工件的下母线作测量基准，检测方便。

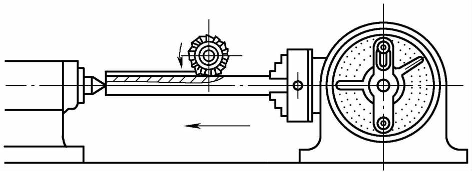


图 7-103　在卧式铣床上用分度头装夹铣削开式键槽

4）用 V 形块装夹工件。图 7-104 所示为用 V 形铁和压板装夹工件铣键槽。在 V 形块中装夹工件，应选择两块等高的 V 形块，由压板、螺栓将工件夹紧。若采用图 7-105 所示的底面带键的 V 形块装夹工件，可以节省校正时间。V 形块安装后，应用标准圆棒（或经检验合格的工件）放入两 V 形块的 V 形槽内，用指示表校正圆棒（或工件）的上母线与工作台台面平行，再校正其侧母线与工作台纵向进给方向平行（见图 7-106）。

工件在 V 形块上以外圆表面定位时，如不考虑 V 形块的制造误差，则工件定位基准

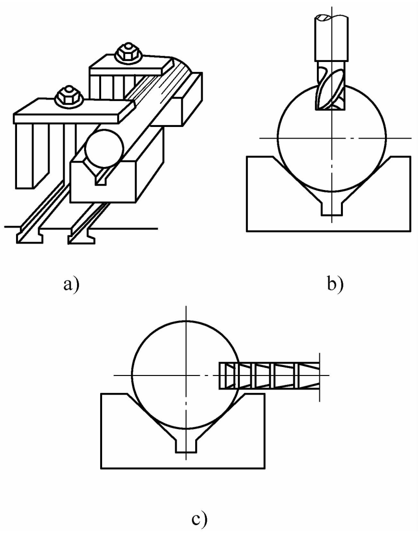


图7-104　用V形铁和压板装夹工件铣键槽

a）用V形铁和压板装夹工件　b）用立铣刀铣键槽　c）用盘形槽铣刀铣键槽

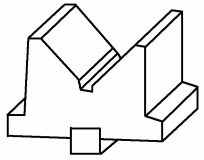


图7-105　带键的V形架

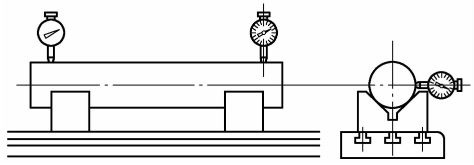


图7-106　V形块的校正

在V形块的对称平面上，因此水平方向的定位误差为零。然而在垂直方向上，因工件外圆柱面直径有制造误差 δ_d（见图7-107），在用调整法铣削键槽时，由于工件直径尺寸的变化而产生基准位移误差 ΔY 为

$$\Delta Y = OO_1 = \frac{OA}{\sin\frac{\alpha}{2}} - \frac{O_1B}{\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{d/2}{\sin\frac{\alpha}{2}} - \frac{(d-\delta d)/2}{\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{\delta d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$$

由图7-98可见，键槽深度的工序尺寸有三种标注方法，故其定位误差是不同的，分别

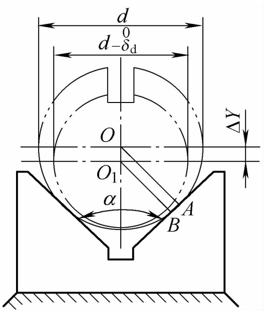


图7-107　外圆柱面在V形块上定位时的基准位移误差 ΔY

计算如下：

①　当工序尺寸标为 H_1 时（见图7-108a），因工序基准与定位基准重合，均为水平轴线，所以不产生基准不重合误差 ΔB（即 $\Delta B=0$），只存在基准位移误差 ΔY。影响键槽深度尺寸 H_1 的定位误差为

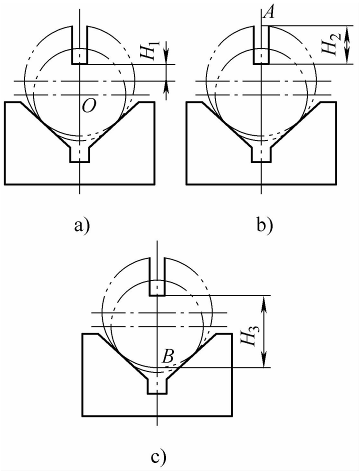


图7-108　工件在V形块上定位时的定位误差

a）按 H_1 标注　b）按 H_2 标注

c）按 H_3 标注

$$\Delta H_1 = \Delta Y = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$$

②　当工序尺寸标为 H_2 时（见图7-108b），工序基准选在上母线 A 处，此时，工序基准与设计基准不重合，因而产生基准不重合误差 $\Delta B=\frac{\delta_d}{2}$，基准位移误差 ΔY 同上。由于 ΔB 与 ΔY 均是由于工件直径尺寸制造误差

引起的，因此可采用合成法来计算，但计算时需正确判断其正负。判断方法如下：当工件直径尺寸减小时，工件的定位基准将下移；而工件定位基准位置不变时，工件直径尺寸减小，则工序基准 A 下移，两者变化方向相同。因此，定位误差合成计算时，应取“+”号，即两者相加，则

$$\Delta H_2 = \Delta Y + \Delta B = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{\delta_d}{2}$$

③ 当工序尺寸标为 H_3 时（见图 7-108c），工序基准选在工件下母线 B 处，同样，工序基准和设计基准不重合，而产生基准不误差 $\Delta B = \frac{\delta_d}{2}$。基准位移误差 ΔY 同上。当工件直径变小时，定位基准将下降，但是工序基准 B 反向上移。因此，定位误差合成计算时，应取“−”号，即两者相减，则

$$\Delta H_3 = \Delta Y - \Delta B = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta_d}{2}$$

由上述计算可见，V 形块夹角 α 不同，定位误差也不同。α 越小，定位误差越大；但 α 太大，则对中性下降，故生产中广泛使用 $\alpha = 90°$ 的 V 形块。

当 $\alpha = 90°$ 时，上述三种情况下的定位误差可以计算为：

a. 当工序尺寸为 H_1 时

$$\Delta H_1 = \Delta Y = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{90°}{2}} = 0.70\delta_d$$

b. 当工序尺寸为 H_2 时

$$\Delta H_2 = \Delta Y + \Delta B = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{90°}{2}} + \frac{\delta_d}{2}$$

$$= \frac{\delta_d}{2}\left[\frac{1}{\sin\frac{90°}{2}} + 1\right] = 1.207\delta_d$$

c. 当工序尺寸为 H_3 时

$$\Delta H_3 = \Delta Y - \Delta B = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{90°}{2}} - \frac{\delta_d}{2}$$

$$= \frac{\delta_d}{2}\left[\frac{1}{\sin\frac{90°}{2}} - 1\right] = 0.207\delta_d$$

由上可见，同样在 V 形块上定位铣削键槽，工序基准不同，其定位误差也不同，即 $\Delta H_3 < \Delta H_1 < \Delta H_2$。此外，轴的加工精度较高，即 δ_d 较小时，则定位误差也将相应地变小。

（3）对刀方法　铣削键槽时，应使键槽铣刀的中心或盘形槽铣刀宽度的中心对准工件的轴线。常见的对刀方法有以下几种：

1）切痕对刀法。

① 盘形槽铣刀的对刀。先把工件大致调整到铣刀的中分线上，开动铣床，在工件表面上切出一个椭圆形切痕（见图 7-109a）；然后横向移动工作台，使铣刀两侧刃落在椭圆形的中间位置（见图 7-109b）。

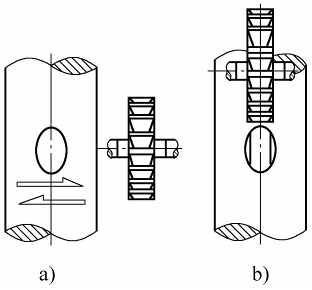


图 7-109　盘形槽铣刀的切痕对刀法

a）步骤一　b）步骤二

② 键槽铣刀的对刀。键槽铣刀的对刀方法和盘形槽铣刀的相同，只是键槽铣刀的切痕应是边长等于铣刀直径的正方形平台（见图 7-110a），调整工作台使铣刀两切削刃在旋转时落在小平台的中间位置（见图 7-110b）。

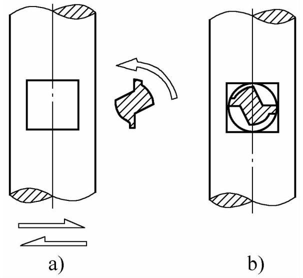


图 7-110　键槽铣刀的切痕对刀法

a）步骤一　b）步骤二

2）擦边对刀法。擦边对刀法是先在工件侧面贴上一张薄纸，开动铣床，当铣刀擦到薄纸后，向下退出工件，再横向移动工作台。用盘形槽铣刀铣削时（见图 7-111a），工作台横

向移动距离 $A=\frac{D+L}{2}+$纸厚；用键槽铣刀铣削时（见图 7-111b），$A=\frac{D+d_0}{2}+$纸厚。

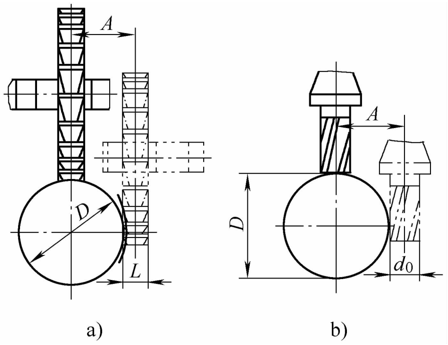


图 7-111　擦边对刀法

a）盘形槽铣刀对刀　b）键槽铣刀对刀

3）测量对刀法（见图 7-112）。用盘形槽铣刀铣削键槽时，在工件装夹后，用游标卡尺测量铣刀侧面与直角尺内侧面的距离。若 $A=A'$ 表示铣刀与工件已对准了中心。

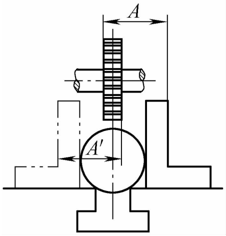


图 7-112　测量对刀法

4）环表对刀法。对于对称精度要求较高的键槽，可采用环表对刀法，见图 7-113a。将一只杠杆指示表固定在铣床主轴上，通过上下移动工作台及左右转动主轴的方法，使指示表的测头处于工件最外侧的母线上，同时记下指示表的读数；然后下降工作台，退出工件，并将主轴转过 180°，使指示表转到对称的另一侧位置，用同样的方法进行测量。如果铣床主轴已对准工件中心，则两次测得的指示表读数应相同；如读数不同，可根据两次读数的差值调整工件相对铣床主轴的横向位置，直到指示表在工件两侧测得的读数之差在允许范围内为止。这种方法的对刀精度为 0.02mm 左右。如果工件使用 V 形块或机用虎钳装夹时，可用图 7-113b 或 c 所示的方法进行校正。

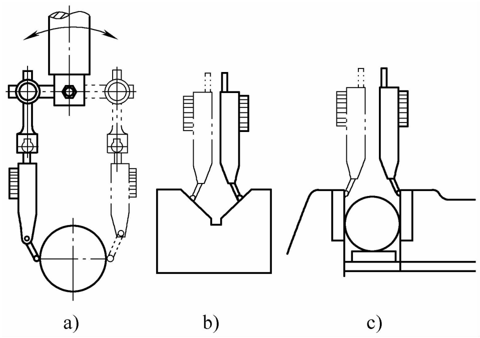


图 7-113　环表对刀法

a）对刀方法　b）工件在 V 形块上装夹的对刀

c）工件在机用虎钳中装夹的对刀

（4）轴上键槽的铣削方法

1）封闭式键槽的铣削方法。封闭式键槽的铣削方法主要有以下几种：

①　分层铣削法。根据铣刀直径（键槽宽度）大小的不同，选择每次的背吃刀量在 0.15～1mm 之间，键槽两端各留 0.5mm 的余量。手动进给时，由键槽一端铣向另一端，然后快速退回后再进刀，逐次铣至要求的深度后，再同时铣到要求的长度（见图 7-114a）。图 7-114b 所示为用机动进给分层铣削法铣削键槽。

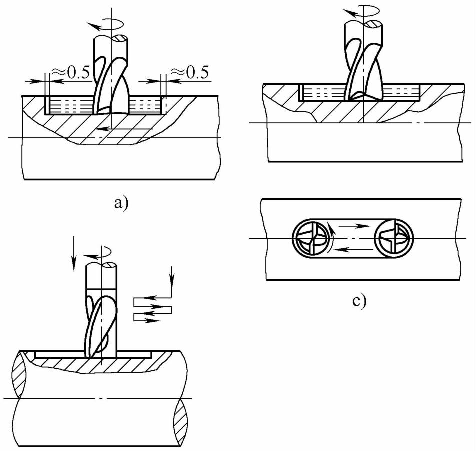


图 7-114　封闭式键槽的铣削方法

a）手动进给分层铣削法　b）机动进给分层铣削法　c）扩刀铣削法

②　扩刀铣削法（见图 7-114c）。先用直径小于键槽宽度 0.3～0.5mm 的铣刀铣削到要

求的深度，键槽两端各留 0.5mm 余量，再用直径等于键槽宽度的铣刀由键槽中心对称扩至要求的宽度，并铣削到要求的长度。

③ 粗、精铣削法。选用两把铣刀进行精、精铣削，粗铣刀直径比键槽宽度尺寸小 0.3～1mm，精铣刀的尺寸符合键宽要求。

2）半圆键槽的铣削（见图 7-115）。半圆键槽常用半圆键槽铣刀加工，铣刀直径应与半圆键槽的圆弧直径相同。半圆键槽一般都在卧式铣床上加工，采用垂直进给。由于在进给过程中，铣削量越来越大，故常用手动进给；若采用机动进给，一定要留 0.5～1mm 的深度，改用手动进给，以免因铣削量过大而损坏刀具和造成废品。半圆键槽铣削加工的进给量可参考表 5-14 进行选择。

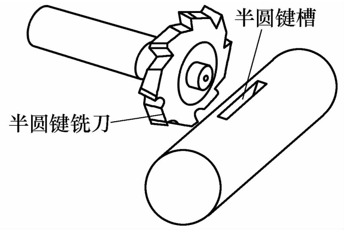


图 7-115 半圆键槽的铣削

（5）键槽加工精度的检验

1）键槽宽度的检验。工件数量较少时，可用通用量具（如内径千分尺）检验（见图 7-116）；批量较大时，可用塞规和塞块检验（见图 7-117）。

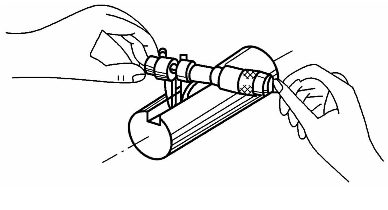


图 7-116 用内径千分尺检验键槽宽度

2）键槽深度及长度尺寸的检验。键槽的深度尺寸可用游标卡尺（见图 7-118）、游标深度尺（见图 7-119）和外径千分尺（见图 7-120）进行检验。键槽的长度可用游标卡尺进行检验。

3）平键槽两侧对称度的检验。通常可用指示表来检验键槽两侧对工件轴线的对称度（见图 7-121）；批量较大时，可用样板检验（见图 7-122）。

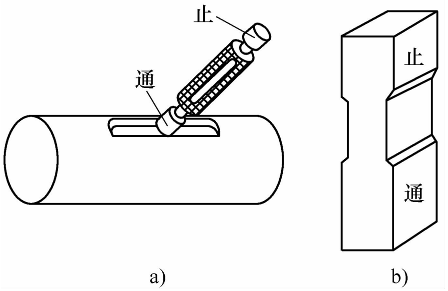


图 7-117 用塞规和塞块检验键槽宽度

a）塞规 b）塞块

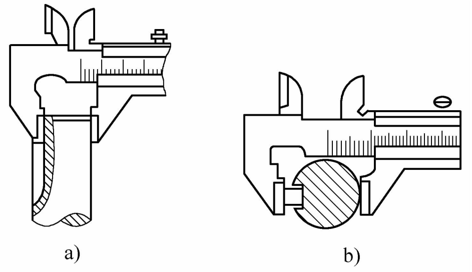


图 7-118 用游标卡尺检验键槽深度

a）直接测量 b）塞入键块间接测量

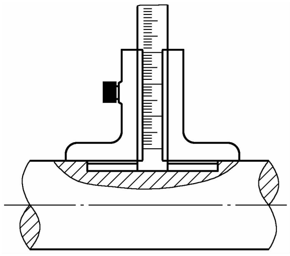


图 7-119 用游标深度尺检验键槽深度

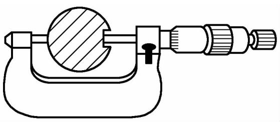


图 7-120 用外径千分尺检验键槽深度

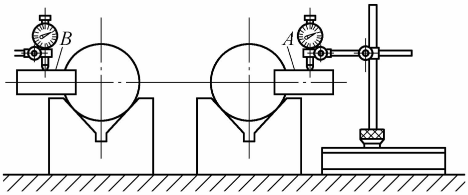


图 7-121 用指示表检验键槽两侧对工件轴线的对称度

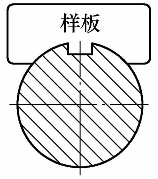


图 7-122 用样板检验平键槽两侧的对称度

4）半圆键槽的检验。半圆键槽的宽度、长度及对称度可用与上述平键槽相同的方法进行检验。半圆键槽深度一般采用间接测量（见图 7-123）。取一直径和宽度都略小于键槽铣刀尺寸的圆柱体嵌入槽内，量出距离 S，即可用下式计算键槽深度 l：

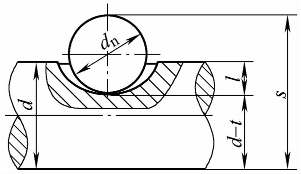


图 7-123 半圆键槽深度的测量

$$l = d - (d - t)$$

$$l = d - (S - d_n)$$

式中 l——键槽深度（mm）；

d——工件直径（mm）；

$(d - t)$——键槽底至轴底的距离（mm）；

S——铣刀齿顶至轴底的距离（mm）。

（6）铣削键槽常见的质量问题及产生原因 铣削键槽常见的质量问题及产生原因见表 7-12。

3. 铣削 V 形槽

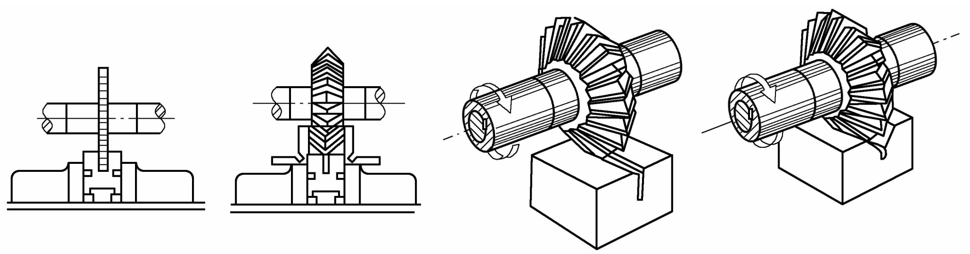
铣削 V 形槽的方法有以下几种，应根据具体条件来适当选择。

表 7-12 铣削键槽常见的质量问题及产生原因

质量问题	产生原因
槽的宽度尺寸不对	1）键槽铣刀装夹不好，与主轴的同轴度差 2）铣刀已磨损 3）刀轴弯曲，铣刀摆差大
槽底与工件轴线不平行	1）工件装夹位置不准确，工件轴线与工作台面不平行 2）铣刀装夹不牢或铣削用量过大时，铣刀被拉下
键槽对称性不好	对刀不仔细，使偏差过大
封闭槽的长度尺寸不对	1）工作台自动进给关闭不及时 2）纵向工作台移动距离不对

（1）用双角度铣刀铣削 V 形槽 一般常选用与 V 形槽角度相同的对称双角铣刀加工。若无合适的双角铣刀，则可用两把刃口相反规格相同的单角铣刀组合起来进行铣削。V 形槽底部的窄槽一般在铣 V 形面之前加工（见图 7-124a），窄槽加工好后，以窄槽为基准调整铣刀位置，使双角铣刀的刀尖对准窄槽中间（见图 7-124b）。开动机床，使铣刀两侧同时切到窄槽口的两边（见图 7-124c），固定工作台横向位置，退出工件后，调整吃刀量，铣削 V 形槽至规定的尺寸（见图 7-124d）。

（2）用单角铣刀铣削 V 形槽 在没有合适的双角铣刀时，可用单角铣刀铣 V 形槽一侧面（见图 7-125）。单角铣刀的廓形角应等于 V 形槽槽形角的一半，铣刀的宽度应大于 V



a) b) c) d)

图 7-124 用双角铣刀铣削 V 形槽

a）用锯片铣刀铣削槽 b）双角铣刀位置的调整

c）窄槽口切痕对刀 d）用双角铣刀铣 V 形槽

形槽一侧槽面的宽度。铣削时，先用铣刀锥面上的切削刃铣出 V 形槽的一侧（见图 7-125a），然后将工件转过 180°装夹，再铣削 V 形槽的另一侧面（见图 7-125b）。这种方法的生产率低于用双角铣刀铣削，但如果装夹位置准确，铣出的 V 形槽对称性较好。

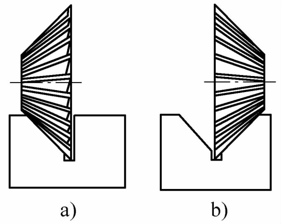


图 7-125 用单角铣刀铣削 V 形槽

a）铣 V 形槽左侧面 b）铣 V 形槽右侧面

（3）用倾斜铣刀铣削 V 形槽 对于一些槽面尺寸较大而角度铣刀宽度不够、夹角等于或大于 90°的 V 形槽，可以用立铣刀在立式铣床上进行加工（见图 7-126）。铣削前，仍先用锯片铣刀铣出窄槽，然后将立铣头转过 V 形槽半角并固定，安装立铣刀铣削 V 形槽。先铣出一侧 V 形面，然后把工件转 180°装夹，再铣出另一侧 V 形面。这种方法铣出的 V 形槽对于矩形工件的两侧面对称性较好。

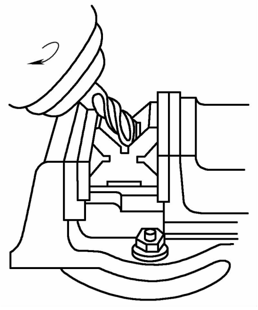


图 7-126 用倾斜铣刀铣削 V 形槽

（4）倾斜工件铣削 V 形槽 对于尺寸不大的工件的 V 形槽，可采用倾斜工件的方法来进行铣削（见图 7-127）。在用锯片铣刀铣出 V 形槽上的窄槽后，将工件倾斜，可用三面刃铣刀或立铣刀等来铣削 V 形槽。

（5）铣削圆盘上的 V 形槽（见图 7-128a） 铣削圆盘上的 V 形槽时，除可用双角铣刀、单角铣刀铣削外，当 V 形槽夹角为 90°时，还可以用三面刃铣刀或立铣刀铣削。此时，需将

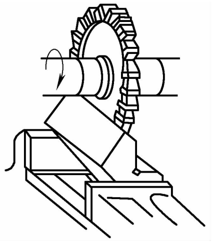


图 7-127 倾斜工件铣削 V 形槽

铣刀的侧面切削刃偏移工件中心一个距离 s 即可（见图 7-128b），具体数值可按下式计算：

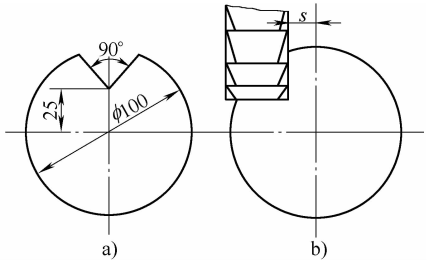


图 7-128 铣削圆盘上的 V 形槽

a）工件简图 b）铣刀位置的调整

$$s = a\sin\frac{\alpha}{2}$$

式中 s——铣刀侧刃的偏移距离（mm）；

a——槽底至中心的距离（mm）；

α——V 形槽的夹角（°）。

（6）V 形槽铣削实例 现以图 7-129 所示的 V 形槽零件为例，介绍用双角铣刀铣削 V 形槽的方法与步骤。

1）铣削窄槽。

① 选择与安装铣刀。

a. 选择锯片铣刀。根据图样槽宽及槽深的要求，选用 ϕ100mm × 3mm 锯片铣刀。

b. 安装铣刀。安装前，必须将铣刀孔径端面、刀杆垫圈和螺母端面擦净，然后将锯片铣刀安装在刀杆中间，并使铣刀的端面圆跳动量控制在 0.05mm 以内。

c. 选择铣削用量。调整主轴转速 n = 60 r/min（v_c = 18m/min）。

② 工件装夹及找正。工件装夹前，按图样在坯料上划出窄槽和 V 形槽线。将机床用机用虎钳安放在工作台上，找正固定钳口与工作台纵向进给方向平行并压紧。工件装夹在钳

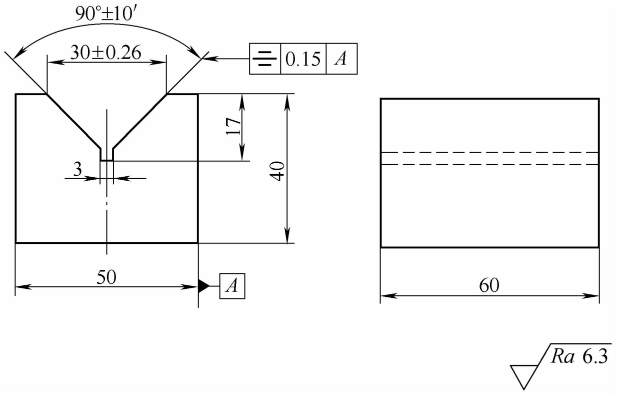


图7-129 V形槽零件图

口中，找正工件，使其上平面与工作台面平行。

a. 对刀。目测使锯片铣刀对准3mm窄槽线。开动机床，垂向上升工作台，使工件表面切出刀痕。用游标卡尺测量切痕到两边距离是否相等，如有偏差，则横向调整工作台。用上述方法再试铣，使窄槽位置符合要求。

b. 调整铣削层深度。对刀后，紧固工作台横向位置，根据切到工件表面的记号，使工作台垂向上升17mm。

③ 铣削。用手动进给铣削出窄槽。

2）铣削V形槽。

① 选择与安装铣刀。

a. 选择铣刀。按V形槽的宽度及槽角，选用外径 $d_0=100$mm、角度 $\theta=90°$、宽度 $L=32$mm的对称双角度铣刀。

b. 安装铣刀。在不影响横向移动工作台的前提下，铣刀应尽量靠近主轴处，以增强刀杆刚度。

c. 选择铣削用量。调整主轴转速 $n=60$r/min，$v_f=37.5$mm/min。

② 铣削步骤。

a. 对刀开动机床，目测使双角铣刀刀尖处于窄槽中间。将工作台垂向少量上升，使铣刀在窄槽两侧切出刀痕，观察两边的刀痕是否相同，如不一致，再调整工作台横向位置。

b. 调控铣削层深度。铣削层深度 H 按下式计算：

$$H=\frac{B-B'}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

式中 H——铣削层深度（mm）；

B——V形槽宽度（mm）；

B'——窄槽宽度（mm）；

α——V形槽槽形角（°）。

本例中，

$$H=\frac{B-B'}{2}\cot\frac{\alpha}{2}=\frac{30\text{mm}-3\text{mm}}{2}\cot45°$$

$$=13.5\text{mm}$$

铣削层深度以双角铣刀擦到窄槽开始计算。

c. 铣削。先粗铣，铣削时不能一次切去全部余量，一般可分二次进给，第一次吃刀量为4mm；第二次吃刀量为2.5mm，留1mm精铣余量；再预检对称度（见图7-130），为了保证V形槽的对称度，在第一、二次粗铣后，可用游标卡尺测量V形槽的对称度。粗铣完成后，需测量对称度。取下工件放在平板上，用指示表和标准圆棒测量V形槽对称度（见图7-131）。测量时，将工件放在平板上，以工件两侧面为基准，在V形槽内放入标准圆棒，用指示表测出圆棒最高点，转动表盘，使指针对准零位（见图7-131a）；然后将工件翻转180°，再用指示表测量圆棒最高点（见图7-131b）。如果读数不一致，需按误差值的一半调整工作台横向位置，再试铣，直至符合要求。最后进行精铣，精铣时为了提高V形槽质量，可将铣削层深度进给量适当减小，而铣削速度略微提高。

（7）V形槽的检验 V形槽的对称度检验见图7-131及其说明。槽形角的检验，可先用

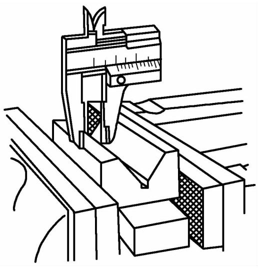


图 7-130　预检对称度

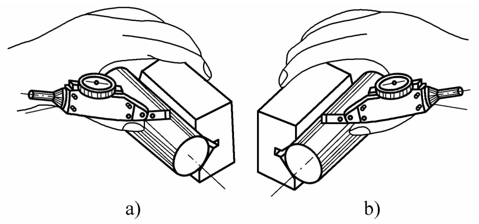


图 7-131　用指示表和标准圆棒测量 V 形槽对称度

a）用指示表测出圆棒最高点　b）将工件翻转 180°，再用指示表测量圆棒最高点

游标万能角度尺测出槽形半角（见图7-132a），若为 45°，再用刀口形直尺测量槽形角（见图 7-132b）。用这种测量方法还能检测槽形角的对称性。V 形槽的深度尺寸很难直接测量，可以通过控制对刀后工作台上升距离来控制槽深尺寸（见图 7-133）。用角度铣刀铣削 V 形槽时，工作台的上升距离（见表 7-13）可用下式计算：

$$H=\frac{B}{2}\cot\frac{\alpha}{2}$$

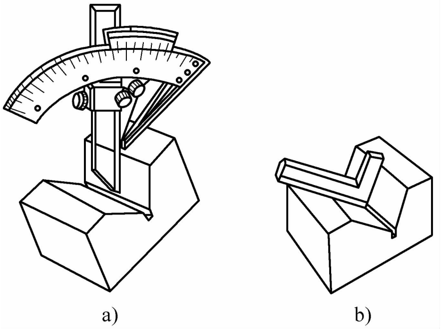


图 7-132　测量 V 形槽槽形角

a）测量槽形半角　b）测量槽形角

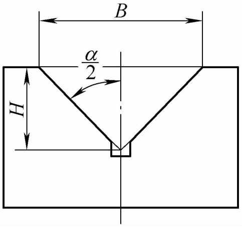


图 7-133　工作台上升距离的计算

表 7-13　角度铣刀铣削 V 形槽工作台的上升距离（H）　（单位：mm）

V 形槽	V 形槽角度(α)									
顶面宽(B)	30°	40°	45°	60°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
30	55.98	41.21	36.21	25.98	15.00	12.59	10.50	8.66	6.99	5.46
40	74.64	54.95	48.28	34.64	20.00	16.78	14.00	11.55	9.33	7.28
45	83.97	61.82	54.32	38.97	22.50	18.88	15.75	12.99	10.49	8.19
50	93.30	68.69	60.36	43.30	25.00	20.98	17.51	14.43	11.66	9.10
55	102.63	75.56	66.39	47.63	27.50	23.08	19.26	15.88	12.82	10.01
60	111.96	82.43	72.43	51.96	30.00	25.17	21.01	17.32	13.99	10.92
65	121.29	89.29	78.46	56.29	32.50	27.27	22.76	18.76	15.16	11.83
70	130.62	93.16	84.50	60.62	35.00	29.37	24.51	20.21	16.32	12.74
75	139.95	103.03	90.53	64.95	37.50	31.47	26.26	21.65	17.49	13.65
80	149.28	109.90	96.57	69.28	40.00	33.56	28.01	23.09	18.65	14.56
85	158.61	116.77	102.60	73.61	42.50	35.66	29.76	24.54	19.82	15.47
90	167.94	123.64	108.64	77.94	45.00	37.76	31.51	25.98	20.98	16.38
95	177.24	130.51	114.67	82.27	47.50	39.86	33.26	27.42	22.15	17.29
100	186.60	137.38	120.71	86.60	50.00	41.96	35.01	28.87	23.32	18.20
105	195.93	144.24	126.75	90.93	52.50	44.05	36.76	30.31	24.48	19.11
110	205.26	151.11	132.78	95.26	55.00	46.15	38.51	31.75	25.65	20.02
115	214.59	157.98	138.82	99.59	57.50	48.25	40.26	33.20	26.81	20.93
120	223.92	164.85	144.85	103.92	60.00	50.35	42.01	34.64	27.98	21.84

间接测量V形槽的深度见图7-134。将一直径为d的测量圆柱置于V形槽内，通过测量由基准平面到测量圆柱顶部的距离M来间接测量槽深。测量时，取一组高度为M的块规，然后用指示表测量圆柱的上部，并和量块组测量数值进行比较。M值可用下式计算：

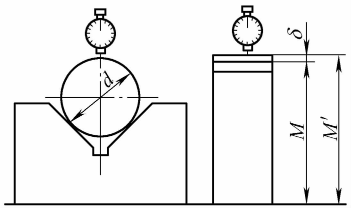


图7-134 间接测量V形槽的深度

$$M = H + \frac{d}{2}\left(1 + \frac{1}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right) - \frac{C}{2\tan\alpha}$$

式中 H——V形槽上平面到基准平面间的距离（mm）；

d——测量圆柱直径（mm）；

C——V形槽槽口宽度（mm）；

α——槽形角（°）。

当$\alpha=60°$时，$M=H+1.5d-0.866C$；$\alpha=90°$时，$M=H+1.207d-0.5C$；$\alpha=120°$时，$M=H+1.078d-0.289C$。

如在精铣前进行测量，可按测得的实际尺寸M'与图样要求的M值之差δ确定精铣时的铣削深度。

4. 铣削T形槽

（1）T形槽的铣削方法

1）铣削直角沟槽（见图7-135a、b）。可在卧式铣床上用三面刃铣刀或在立式铣床上用立铣刀铣出直角沟槽。

2）铣削T形槽的底槽（见图7-135c）。在立式铣床上铣削T形槽底槽时，要根据T形槽的尺寸，选择合适的直径和厚度的T形槽铣刀。此外，T形槽铣刀的铣削条件较差，应选择较小的进给量和铣削速度（见表5-14、表5-17）。

3）槽口倒角（见图7-135d）。用角度铣刀进行槽口倒角。

（2）两端不穿通T形槽的铣削 铣削两端不穿通的T形槽前，要先在T形槽的顶端钻削落刀孔（见图7-136a），落刀孔的直径应大于T形槽铣刀切削部分的直径（见图7-136b）。

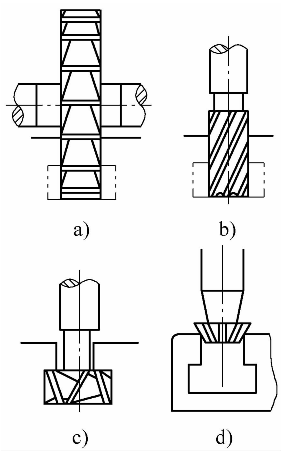


图7-135 T形槽的铣削步骤

a）用三面刃铣刀铣削直角沟槽 b）用立铣刀铣削直角沟槽 c）铣削T形槽的底槽 d）槽口倒角

先铣削直角沟槽，再在落刀孔处落下铣刀铣出T形槽，最后进行槽口倒角。

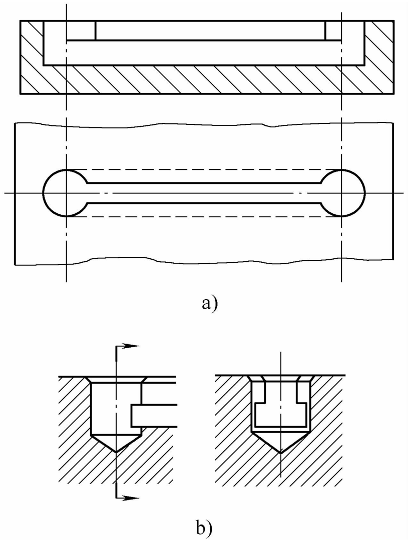


图7-136 两端不穿通T形槽的加工

a）两端不穿通的T形槽及落刀孔 b）落刀孔的断面形状

（3）T形槽铣削时应注意的几个问题

1）T形槽铣刀的铣削负荷重、排屑空间小、铣刀颈部的直径较小，故不宜采用较大的进给量和较高的铣削速度。

2）T形槽铣刀是在近于半封闭的空间内铣削，切屑排出十分困难，因此，切屑易将铣刀

的容屑槽填满，使铣刀降低甚至失去铣削能力，导致铣刀折断。故应经常清除切屑，尤其在铣削较长的T形槽时，更应注意防止切屑堵塞。

3）由于排屑困难，切削热就不易散发，铣刀易因切削温度过高而失去切削能力或磨损严重。尤其在铣削钢件时，一开始铣削就应当充分加注切削液。

5. 铣削燕尾槽

燕尾槽和燕尾块是配合使用的（见图7-137）。用作导轨槽配合时，燕尾槽还常带有1∶50的斜度（见图7-138），用来安装镶条，调整机床导轨的配合间隙。燕尾槽和燕尾块的角度、宽度和深度的要求都很高。对于精度要求高的燕尾导轨，铣削后还需进行磨削或刮削等精密加工。

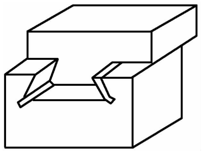


图7-137 燕尾槽和燕尾块

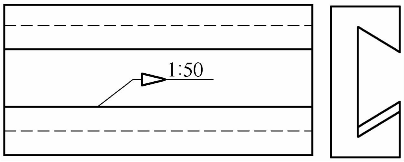


图7-138 带1∶50斜度的燕尾槽

（1）燕尾槽和燕尾块的铣削方法

1）用立铣刀或面铣刀铣削直角沟槽或台阶（见图7-139a、c）。

2）用燕尾槽铣刀铣削燕尾槽或燕尾块（见图7-139b、d）。铣削带斜度的燕尾槽（见图7-138）时，应先铣削燕尾槽不带斜度的一侧，然后将工件按图样规定的方向调整到与进给方向成所要求的斜度，紧固后，再铣削燕尾槽的另一侧。

在单件生产时，若没有合适的燕尾槽铣刀，可用与燕尾槽角度相等的单角铣刀来铣削（见图7-140）。在大批量生产中，如采用图7-141所示的硬质合金组合燕尾槽铣刀，可在一次进给下将燕尾槽和相邻的表面同时铣出，有很高的生产率。

（2）燕尾槽和燕尾块的测量与计算 燕尾

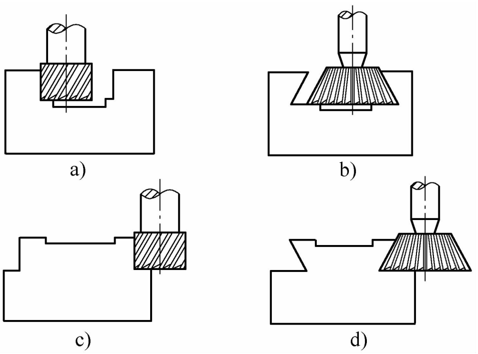


图7-139 燕尾槽和燕尾块的铣削方法

a）铣削直角沟槽 b）铣削燕尾槽
c）铣削台阶 d）铣削燕尾块

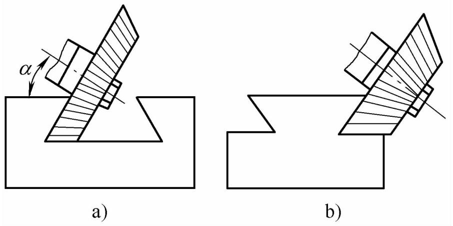


图7-140 用与燕尾槽角度相等的单角铣刀铣削燕尾槽或燕尾块

a）铣削燕尾槽 b）铣削燕尾块

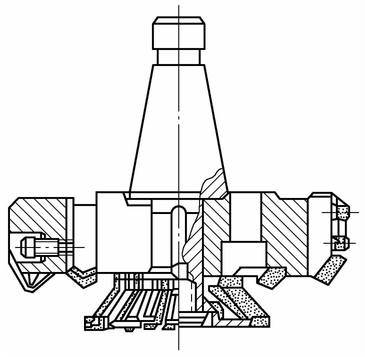


图7-141 硬质合金组合燕尾槽铣刀

槽和燕尾块的角度可以用游标万能角度尺测量（燕尾槽角度的测量见图7-142），槽深可用深度千分尺测量。而槽宽一般都是通过两个直径相等的测量圆柱作间接测量（见图7-143），方法如下：

1）燕尾槽的测量与计算。图7-143a所示为用千分尺测量燕尾槽尺寸 l，根据图7-143b所示的燕尾槽各相关尺寸，可以用下式计算燕

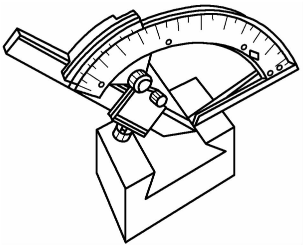


图7-142 用游标万能角度尺测量燕尾槽的角度

尾槽的宽度：

$$l = A - d\left(1 + \cot\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$b = A - 2H\cot\alpha$$

式中 A——燕尾槽的最大宽度（mm）；

l——两标准圆棒测量面之间的距离（mm）；

α——燕尾槽的角度（°）；

H——燕尾深度（mm）；

d——标准圆棒直径（mm）；

b——燕尾槽的最小宽度（mm）。

当 $\alpha=55°$ 时，燕尾槽宽度为

$$l = A - 2.921d$$

$$b = A - 1.4H$$

当 $\alpha=60°$ 时，燕尾槽宽度为

$$l = A - 2.732d$$

$$b = A - 1.1547H$$

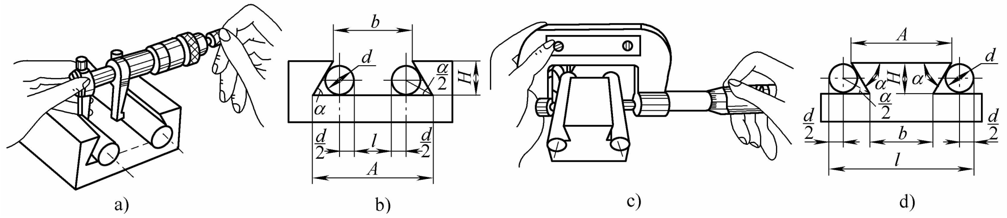


图7-143 燕尾槽、燕尾块的测量与计算

a）用千分尺测量燕尾槽尺寸 l b）燕尾槽各相关尺寸

c）用千分尺测量燕尾块尺寸 l d）燕尾块各相关尺寸

2）燕尾块的测量与计算。图7-143c所示为用千分尺测量燕尾块尺寸 l，根据图7-143d所示的燕尾块各相关尺寸，可以用下式计算燕尾块的宽度：

$$l = A - 2H\cot\alpha + d\left(1 + \cot\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$b = A - 2H\cot\alpha$$

式中 A——燕尾块的最大宽度（mm）；

l——两标准圆棒测量面之间的距离（mm）；

α——燕尾块的角度（°）；

H——燕尾深度（mm）；

d——标准圆棒直径（mm）；

b——燕尾块的最小宽度（mm）。

当 $\alpha=55°$ 时，燕尾块宽度为

$$l = A - 1.4H + 2.921d$$

$$b = A - 1.4H$$

当 $\alpha=60°$ 时，燕尾块宽度为

$$l = A - 1.1547H + 2.732d$$

$$b = A - 1.1547H$$

3）生产批量较大时，可以用样板检验燕尾槽（见图7-144）。

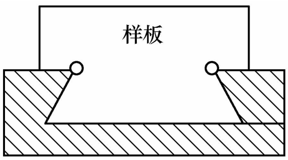


图7-144 用样板检验燕尾槽

6. 切断

工件在铣床上切断时，采用锯片铣刀。锯片铣刀有粗齿、中齿和细齿之分。粗齿锯片铣刀切断时，宽度尺寸的精度较低；细齿锯片铣刀切断时的宽度尺寸精度最高。图7-145所示为用锯片铣刀在卧式铣床上切断条料。

（1）锯片铣刀的选择 锯片铣刀主要是选择铣刀的直径和宽度。

1）锯片铣刀的直径可按下式计算：

$$D > 2t + d$$

式中 D——铣刀直径（mm）；

t——工件厚度（mm）；

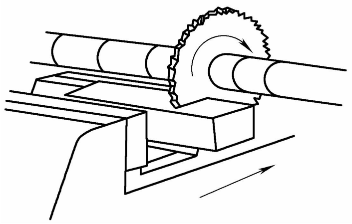


图 7-145 用锯片铣刀在卧式铣床上切断条料

d——刀杆垫圈的外径（mm）。

锯片铣刀的直径是以能切通工件的整个厚度为原则，在满足这一要求的条件下，铣刀的直径尽量取小值。铣刀直径太大，切断时容易引起振动，会造成铣刀刀齿折断，甚至使铣刀破裂。

2）锯片铣刀的厚度应根据工件的长度及分割的件数来确定，铣刀的厚度可按下式计算：

$$B < \frac{L - ln}{n - 1}$$

式中 B——铣刀厚度（mm）；

L——工件总长（mm）；

l——每件长度（mm）；

n——要切断的工件数。

铣刀厚度太大，则浪费材料；厚度太小，则容易折断。一般情况下，锯片铣刀厚度可取 2～5mm；铣刀直径大时，选用较厚的铣刀。

（2）铣刀的安装　锯片铣刀在切断工件时，受力不是很大，故在刀杆和铣刀之间一般不用键，而是利用刀杆螺母和垫圈把铣刀压紧在刀杆上。因为锯片铣刀较薄，加入键反而容易使铣刀碎裂。但是，为了防止铣刀在切削过程中受切削力的影响而旋松或越旋越紧，造成事故，可以在铣刀和旋紧螺母之间的某一垫圈内装一防松键，见图 7-146。对于直径较大、厚度较小的锯片铣刀，安装时可在铣刀的两侧加设夹板，以提高铣刀的刚性，见图 7-147。此外，在安装锯片铣刀时，应尽量将铣刀装得靠近铣床床身，并且严格控制铣刀的端面跳动和径向跳动。

（3）工件的装夹　较厚的条料常在台虎钳中装夹（见图 7-145）。装夹工件时，应使切断处尽量靠近夹紧点，以免切断时因工件松动或振动而造成工件报废或损坏铣刀。切断薄板

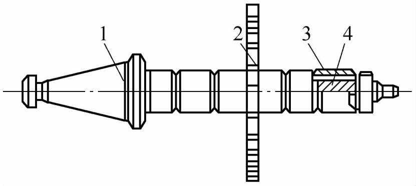


图 7-146 在铣刀和旋紧螺母之间的某一垫圈内装一防松键

1—刀轴 2—铣刀 3—垫圈 4—防松键

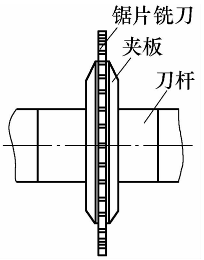


图 7-147 在铣刀的两侧加设夹板

料时，可用压板将工件夹紧在工作台台面上（见图 7-148），压板的夹紧点要尽量靠近铣刀，切缝应置于工作台的 T 形槽间，以避免损伤工作台台面。

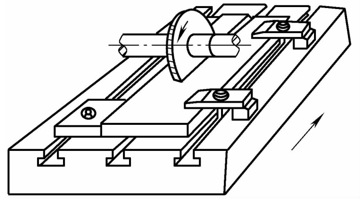


图 7-148 切断薄板料

切断带孔的工件时，应将机用虎钳的固定钳口与铣床主轴的轴线平行安装，夹持工件的两端面（见图 7-149b）；此外，铣刀切入工件不能过浅，以能切透工件为宜（见图7-150b），如果铣刀的位置过低（见图 7-150a），则垂直切削力 P_V 过大，易引起振动或会将工件掀起。

（4）提高切断加工的生产率和防止出现质量问题　为提高切断加工的生产率，可选用图 7-151 所示的疏齿高速钢锯片铣刀，其特点是铣刀的齿数少，容屑空间大，切屑不易堵塞；刀齿强度高，能承受较大的切削力；刀具具有 25°大前角，切削刃锋利，可减少切削力；R = 5mm 的圆弧形前刀面，有利于切屑的卷曲和排出；铣削铜及铝合金时，切削速度可达

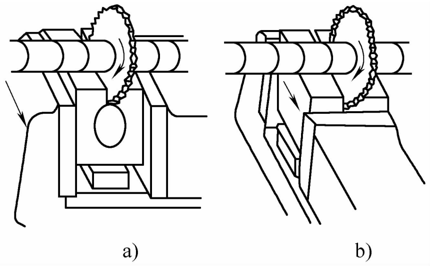


图 7-149 切断带孔的工件

a）错误 b）正确

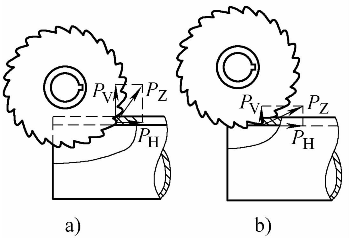


图 7-150 切断空心工件时铣刀位置

a）错误 b）正确

400m/min 以上。切断硬度较高的钢件时，可采用图 7-152 所示的硬质合金三面刃锯片铣刀。铣刀刀片为 YT15 硬质合金，刀齿为左右错齿结构，并有 λ = 10°的刃倾角，切削轻快，排屑顺利；刀齿磨出过渡偏角为 10°的过渡刃及宽度为 0.15mm 的负倒棱，提高了主切削刃及刀尖的强度，可采用较大的切削用量，切断 45 钢工件时，切削速度可达 164m/min。

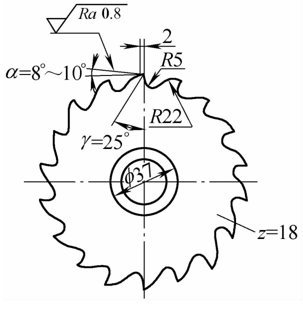


图 7-151 疏齿高速钢锯片铣刀

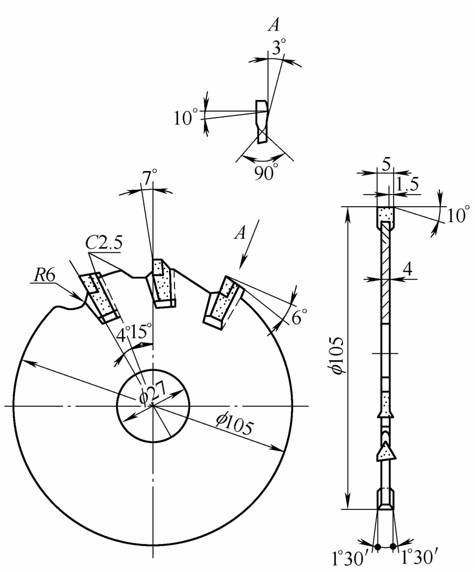


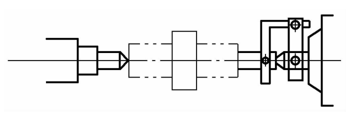
图 7-152 硬质合金三面刃锯片铣刀

切断加工一开始，应充分加注切削液，以减少刀具磨损，并防止铣刀被切屑阻塞而使温度升高，使铣刀热膨胀后被夹紧在工件中，导致铣刀碎裂。铣刀刚切入时，可采用手动进给方式使铣刀逐渐切入工件，避免一开始自动进刀冲击过大而使铣刀折损。切断长度较大的工件时，在切过一定长度后，可在切口内塞入一定厚度的垫片，以防止切口靠扰而出现夹刀现象。在切断过程中，如发现铣刀因夹持不紧或铣削力过大而产生停刀现象，或出现不正常的噪声、振动时，应立即停止工作台的进给，然后迅速停止主轴转动，进行检查。

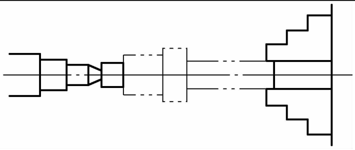
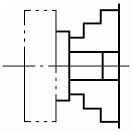
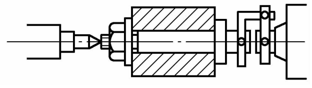
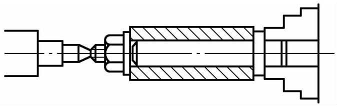
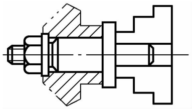
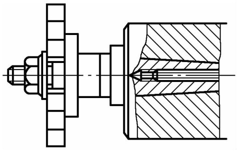
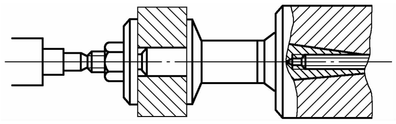
7.3.5 分度头的工作原理与分度方法

作为铣床主要附件之一的分度头，其外形结构及规格、功能可见图 3-3 ~ 图 3-5 及表 3-4。分度头及其附件装夹工件的方式和特点见表 7-14。

表 7-14 分度头及其附件装夹工件的方式和特点

序号	装夹简图	适用范围和特点
1		适用于工件两端有中心孔（顶针孔）的轴类零件加工，用拨盘和鸡心夹头带动工件旋转。工件与主轴的同轴度易于保证

（续）

序号	装夹简图	适用范围和特点
2		用自定心卡盘与尾顶尖装夹，适用于一端有中心孔的轴类零件加工。铣削时刚性较好，但校正工件与主轴同轴度较困难
3		用自定心卡盘装夹，适用于较短的轴类零件加工，装夹方便，铣削平稳
4		适用于多件或较长的套类零件加工，要求工件内孔与心轴，配合准确、两端面平行且与内孔垂直。工件与主轴同轴度易于保证
5		适用于多件或较长的套类零件加工，要求工件内孔与心轴配合准确，两平面平行且与内孔垂直。铣削刚性较好，装夹方便，但同轴度校正较困难
6		适用于较短的套类零件加工，分度头主轴能倾斜角度。心轴结构简单，但是当主轴倾斜角度较大时，机床工作台升降距离受影响，铣削时刚性较差
7		适用于短的套类零件加工，工件内孔与心轴配合要准确，主轴能倾斜角度。工件与主轴同轴度易于保证，能承受较大的铣削力
8		适用于较大的套类零件加工，工件内孔与心轴配合要准确。工件与主轴同轴度好，能承受较大的铣削力，尤其加工螺旋线的零件较为有利

1. 分度头附件

（1）自定心卡盘　自定心卡盘的结构见图7-153。它用过渡盘安装在分度头的主轴上，用来夹持工件（见表7-14中的2、3、6）。当扳手插入小锥齿轮2的方孔1中转动时，小锥齿轮2就带动大锥齿轮3转动，大锥齿轮的背面有平面螺纹4，与三个卡爪5的齿牙相啮合。因此，当平面螺纹转动时，三个卡爪5就同时向心（或离心）移动，实现工件的夹紧或松开。自定心卡盘的卡爪可装成正爪（见图7-153a）和反爪（见图7-153b）。但卡爪伸出卡盘圆周一般不应超过卡爪长度的1/3，否则卡爪与平面螺纹只有1～2牙啮合，受力后使卡爪的齿部碎裂。因此，中小尺寸工件可用正爪夹持，大尺寸的工件则尽量用反爪装夹。两种常见的自定心卡盘的结构和尺寸见表7-15、表7-16。

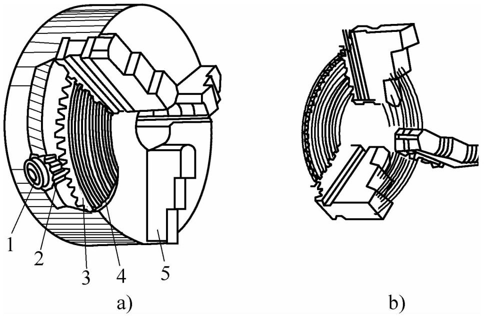


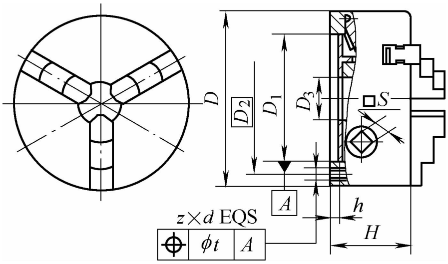
图7-153　自定心卡盘的结构

a）正爪　b）反爪

1—方孔　2—小锥齿轮　3—大锥齿轮

4—平面螺纹　5—卡爪

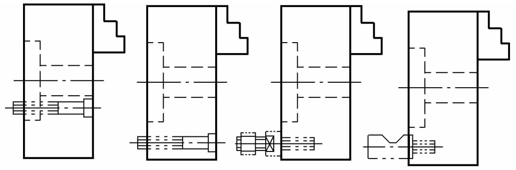
表 7-15 短圆柱形自定心卡盘的结构和尺寸（GB/T 4346—2008） （单位：mm）



短圆柱形卡盘的参数

卡盘直径 D	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
D_1	55	72	95	130	165	206	260	340	440	560	710
D_2	66	84	108	142	180	226	285	368	465	595	760
$D_{3\min}$	16	22	30	40	60	80	100	130	200	260	380
$z \times d$	3 × M6	3 × M8			3 × M10	3 × M12	3 × M16		6 × M16		6 × M20
t	0. 30					0. 40					
$h_{\min}$	3			5					6	7	8
$H_{\max}$	50	55	60	65	75	80	90	100	115	135	149
S	8		10		12		14	17		19	

表 7-16 短圆锥形卡盘的结构和尺寸（GB/T 4346—2008）

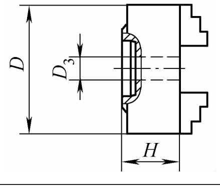


短圆锥A₁型 短圆锥A₂型 短圆锥C型 短圆锥D型

（1）短圆锥形卡盘的连接型式代号与卡盘直径的配置关系

系列	连接型式	卡盘直径 D/mm								
		125	160	200	250	315	400	500	630	800
		代号								
Ⅰ	A_1	—	—	5	6	8	11	15	15	—
	A_2	—	—	—	—	—	—	—		15
	C、D	3	4	5	6	8	11	15		
Ⅱ	A_1	—	—	6	8	—	—	—	—	—
	C、D	4	5			11	15		20	20
Ⅲ	A_1	—	—	—	5	6	8	11	—	—
	A_2	—	—	4					11	20
	C、D	—	3							—

注：优先选用Ⅰ系列。



（续）

（2）125～250mm 短圆锥形卡盘的参数　（单位：mm）

卡盘直径 D	连接型式	代号 3 D_{3min}	3 H_{max}	4 D_{3min}	4 H_{max}	5 D_{3min}	5 H_{max}	6 D_{3min}	6 H_{max}	8 D_{3min}	8 H_{max}
125	A_1										
	A_2										
	C	25	65	25	65						
	D	25	65	25	65						
160	A_1										
	A_2										
	C	40	80	40	75	40	75				
	D	40	80	40	75	40	75				
200	A_1					40	85	55	85		
	A_2			50	90						
	C			50	90	50	90	50	90		
	D			50	90	50	90	50	90		
250	A_1					40	95	55	95	75	95
	A_2										
	C					70	100	70	100	70	100
	D					70	100	70	100	70	100

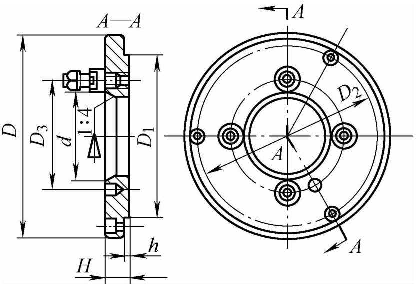
（3）315～800mm 短圆锥形卡盘的参数　（单位：mm）

卡盘直径 D	连接型式	代号 6 D_{3min}	6 H_{max}	8 D_{3min}	8 H_{max}	11 D_{3min}	11 H_{max}	15 D_{3min}	15 H_{max}	20 D_{3min}	20 H_{max}
315	A_1	55	110	75	110						
	A_2	100	110								
	C	100	110	100	110	100	110				
	D	100	115	100	115	100	115				
400	A_1			75	125	125	125				
	A_2			125	125						
	C			125	125	125	125	125	140		
	D			125	125	125	125	125	155		
500	A_1					125	140	190	140		
	A_2					190	140				
	C					190	140	200	140		
	D					190	145	200	145		
630	A_1							240	160		
	A_2					190	160	240	160		
	C					190	160	240	160	350	200
	D					190	160	240	160	350	200
800	A_1										
	A_2							240	180	350	200
	C							240	180	350	200
	D							240	180	350	200

注：扳手方孔尺寸见表 7-15。

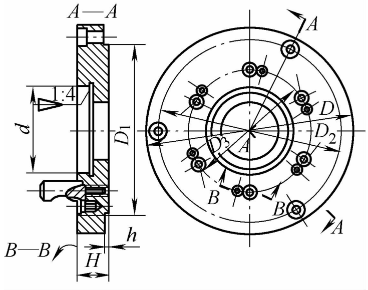
（2）过渡盘　过渡盘用来连接分度头和自定心卡盘，其结构和尺寸见表 7-17 和表 7-18。

表 7-17 C型自定心卡盘用过渡盘的结构和尺寸(JB/T 10126.1—1999)



主轴端部代号		3	4	5	6	8	11	
D/mm		125	160	200	250	315	400	500
D_1	基本尺寸/mm	95	130	165	206	260	340	440
	极限偏差 n6/mm	+0.045 +0.023	+0.052 +0.027		+0.060 +0.031	+0.066 +0.034	+0.073 +0.037	+0.080 +0.040
D_2/mm		108	142	180	226	290	368	465
D_3/mm		75.0	85.0	104.8	133.4	171.4	235.0	
d	基本尺寸/mm	53.975	63.513	82.563	106.375	139.719	196.869	
	极限偏差/mm	+0.003 0		+0.010 0		+0.012 0	+0.004 0	
H/mm		20	25	30		38	40	
h_{max}/mm		2.5	4.0					5.0

表 7-18 D型自定心卡盘用过渡盘的结构和尺寸(JB/T 10126.1—1999)



主轴端部代号		3	4	5	6	8	11	
D/mm		125	160	200	250	315	400	500
D_1 /mm	基本尺寸	95	130	165	206	260	340	440
	极限偏差 n6	+0.045 +0.023	+0.052 +0.027		+0.060 +0.031	+0.066 +0.034	+0.073 +0.037	+0.080 +0.040
D_2/mm		108	142	180	226	290	368	465
D_3/mm		70.6	82.6	104.8	133.4	171.4	235.0	
d/mm	基本尺寸	53.975	63.513	82.563	106.375	139.719	196.869	
	极限偏差	+0.003 −0.005		+0.004 −0.006		+0.004 −0.008	+0.004 −0.010	
H/mm		25		30	35	38	45	
h_{max}		2.5	4.0					5.0

（3）前顶尖、拨盘和鸡心夹头 装夹较长工件时，常使用顶尖、拨盘和鸡心夹头（见表7-14中的1）。使用时，先将分度头上的自定心卡盘卸下，将带有拨盘的前顶尖插入分度头主轴的锥孔中（见图7-154a）。拨盘（见图7-154b）用来使工件和分度头主轴一起转动；鸡心夹头（见图7-154c）用作将工件插入其孔内，并用螺钉把工件紧固。几种常用的固定顶尖的型式和尺寸见表7-19。拨盘有C型和D型两种，其结构与尺寸见表7-20。鸡心夹头有A型和B型，其结构与尺寸见表7-21。

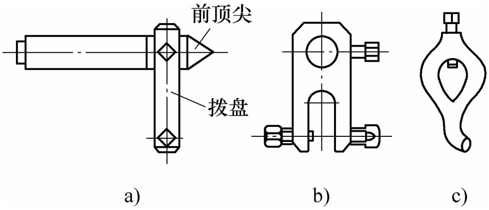
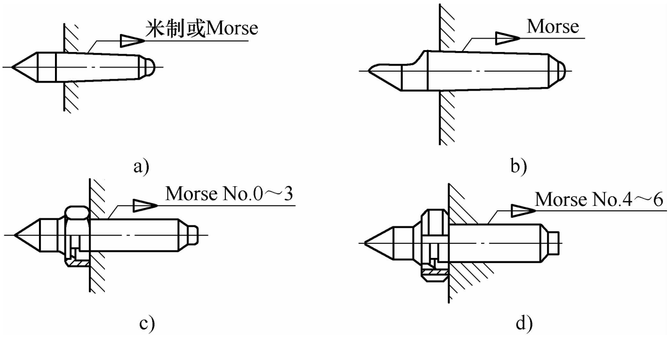


图7-154 前顶尖、拨盘和鸡心夹头
a）前顶尖 b）拨盘 c）鸡心夹头

表7-19 几种常用的固定顶尖的型式及规格

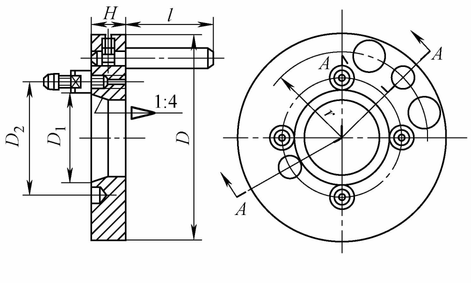


a）固定顶尖 b）半缺顶尖 c）带压出六角螺母顶尖 d）带压出圆螺母顶尖

顶尖名称	型号	顶尖尾锥莫氏锥度号	外形尺寸/mm（尾锥大端直径×总长）
固定顶尖	D110	0	ϕ9.045×70
	D111	1	ϕ12.065×80
	D112	2	ϕ17.780×100
	D113	3	ϕ23.825×125
	D114	4	ϕ31.267×160
	D115	5	ϕ44.399×200
	D116	6	ϕ63.348×280
半缺顶尖	D130	0	ϕ9.045×70
	D131	1	ϕ12.065×80
	D132	2	ϕ17.780×100
	D133	3	ϕ23.825×125
	D134	4	ϕ31.267×160
	D135	5	ϕ44.399×200
	D136	6	ϕ63.348×280
带压出螺母顶尖	D151	1	ϕ12.065×85
	D152	2	ϕ17.780×105
	D153	3	ϕ23.825×130
	D154	4	ϕ31.267×170
	D155	5	ϕ44.399×210
	D156	6	ϕ63.348×290

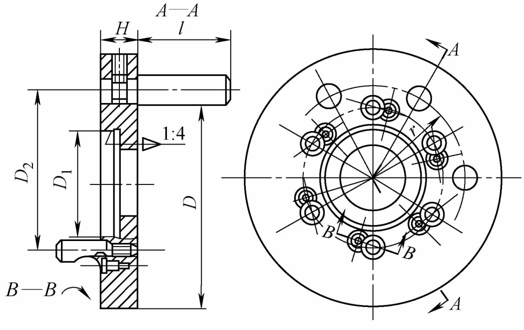
注：1. 60°圆锥表面的径向圆跳动公差：普通级0.01mm，精密级0.005mm，高精度级0.003mm。
2. 莫氏圆锥与莫氏锥度量规的接触面积：普通级>75%，精密级>80%，高精度级>85%。

表7-20 拨盘(JB/T 10124—1999)



C型

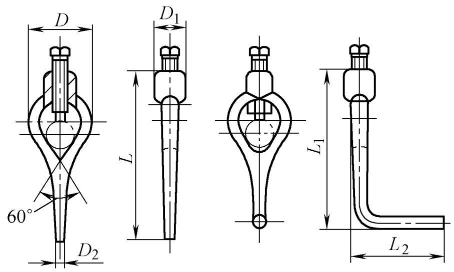
型号 / 代号		C 型					
主轴端部代号		3	4	5	6	8	11
D/mm		125	160	200	250	315	400
D_1/mm	基本尺寸	53.975	63.513	82.563	106.375	139.719	196.869
	极限偏差	+0.008 0		+0.010 0		+0.012 0	+0.014 0
D_2/mm		75.0	85.0	104.8	133.4	171.4	235.0
H/mm		20		25	30		35
r/mm		45	60	72	90	125	165
l/mm		60		75	85		90



D型

型号 / 代号		D 型					
主轴端部代号		3	4	5	6	8	11
D/mm		125	160	200	250	315	400
D_1/mm	基本尺寸	53.975	63.513	82.563	106.375	139.719	196.869
	极限偏差	+0.003 -0.005		+0.004 -0.006		+0.004 -0.008	+0.004 -0.010
D_2/mm		70.6	82.6	104.8	133.4	171.4	235.0
H/mm		25		28	35	38	45
r/mm		45	60	72	90	125	165
l/mm		50		65	80		90

表 7-21　鸡心夹头（JB/T 10118—1999）　　（单位：mm）



A型　　B型

公称直径（适用工件直径）	型号	D	D_1	D_2	L	L_1	L_2
3～16	A	22	12	6	75	—	—
	B				—	70	40
>6～12	A	28	16	8	95	—	—
	B				—	90	90
>12～18	A	36	18		115	—	—
	B				—	110	60
>18～25	A	50	22	10	135	—	—
	B				—	130	70
>25～35	A	65	28	12	155	—	—
	B				—	150	75
>35～50	A	85		14	180	—	—
	B				—	170	80
>50～65	A	100		16	205	—	—
	B				—	190	85
>65～80	A	120	34	18	230	—	—
	B				—	210	90
>80～100	A	150		22	260	—	—
	B				—	240	95
>100～130	A	180	40	25	290	—	—
	B				—	270	100

（4）心轴　心轴是用来装夹带孔工件的（见表 7-14 中的 4～8）。心轴的结构型式很多，常用的有两种。一种是带挡肩的心轴（见图 7-155a），工件以内孔套在心轴的圆柱面 3 上，端面紧靠挡肩 1，螺母 4 用来压紧工件；另一种是带锥柄和挡肩的心轴（见图7-155b），锥柄 5 插入分度头主轴的锥孔中，并用拉杆拉紧，工件内孔套入心轴的圆柱 6 后，用螺母压紧，这种心轴适用于装夹不需要后顶尖支承的工件。

（5）尾座与千斤顶　尾座（见图 7-156）与分度头组合用来支承较长的工件。对于刚性差的细长轴，为了在加工时不产生较大的变形，在工件下面还可以用千斤顶（见图7-157）支承。由图 7-157 可见，转动螺母 3，可以使螺杆 4 上下移动，以调节千斤顶的支承高度，螺钉 1 用于紧固螺杆 4。装拆工件时，转动尾架上的手轮，后顶尖就可纵向移动。

2. 分度头的传动与分度方法

（1）分度头的传动系统与单式分度法

1）分度头的传动系统。由图 7-158 所示的分度头的传动系统可知，其传动路线是：转动分度手柄，通过一对传动比为 1∶1 的直齿圆柱齿轮 5，传动一对传动比为 1∶40 的蜗轮蜗

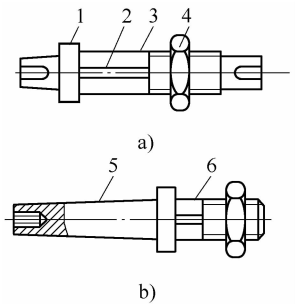


图7-155　心轴的结构型式

a）带挡肩的心轴　b）带锥柄和挡肩的心轴

1—挡肩　2—键　3、6—心轴圆柱部分

4—螺母　5—锥柄

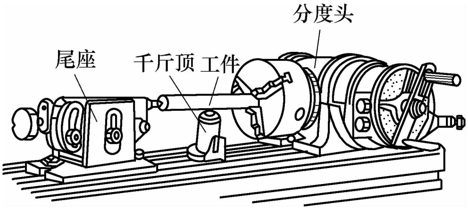


图7-156　尾座与分度头组合

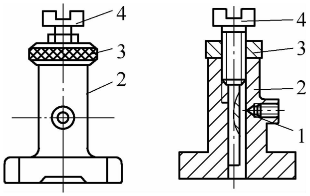


图7-157　千斤顶

1—螺钉　2—千斤顶座

3—螺母　4—螺杆

杆副4，使分度头的主轴2旋转。此外，右侧还有一根安装交换齿轮用的挂轮轴6，它通过一对传动比为1∶1的螺旋齿轮1，和空套在分度手柄上的分度盘7相连接。由此可算得，手柄与主轴的传动比 $i=\frac{1}{40}$，即分度手柄转一圈，主轴则转过$\frac{1}{40}$圈。

对工件进行分度时，如果要使工件按 z 等分，则每次工件（主轴）要转过$\frac{1}{z}$转。此时，分度手柄所转的圈数 n 可由下式算出：

$$1:40=1/z:n$$

$$n=40/z$$

式中　z——工件的等分数；

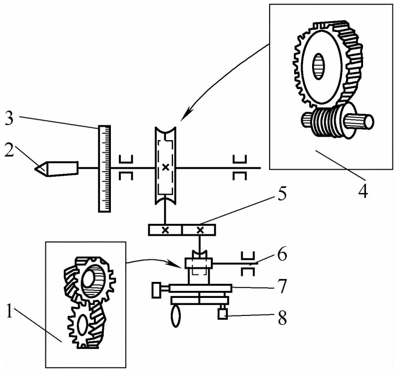


图7-158　分度头的传动系统

1—1∶1螺旋齿轮传动　2—主轴　3—刻度盘

4—1∶40蜗轮蜗杆副　5—1∶1直齿圆柱齿轮

6—挂轮轴　7—分度盘　8—定位销

n——手柄每次分度时的转数；

40——分度头定数。

可见，只要把手度手柄转过$\frac{40}{z}$转，就可使主轴（工件）转过 $1/z$ 转，从而实现工件的分度。

2）单式分度法。现以铣齿数 $z=17$ 的齿轮为例，介绍简单分度法。铣削中进行分度时，每次分度手柄的转数为

$$n=\frac{40}{z}=\frac{40}{17}=2\frac{6}{17}$$

即每分一齿，分度手柄要转过2整圈、再多转6/17圈。此时，6/17圈要通过分度盘（见图7-159）来实现。分度头一般备有1块或2块分度盘，分度盘正、反两面上有许多孔数不同的等距孔圈，各圈的孔数见表7-22。分度前，应先在分度盘上找到分母17的倍数的

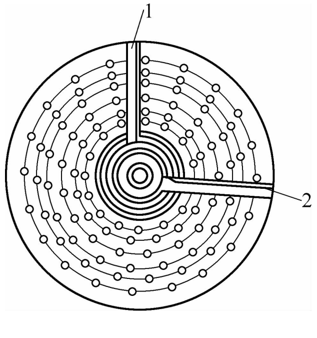


图7-159　分度盘

1、2—扇形夹

孔（例如 34、51），如选定 34，再计算应转过的孔距数。这样，分度计算则为

$$n=\frac{40}{z}=\frac{40}{17}=2\frac{6}{17}=2\frac{6\times2}{17\times2}=2\frac{12}{34}。$$

即分度时，把分度手柄的定位销拔出，使手柄转过 2 整圈后，再沿孔数为 34 的孔圈转过 12 个孔距。此时，主轴就转过了 1/17 转，完成对工件的一次分度。

为了确保分度手柄每次转过的孔距准确，把分度盘上的两个扇形夹 1、2 之间的夹角（见图 7-159）调整到分度手柄转过非整数圈的孔间距（如本例为 12 个孔距），以便使每次分度迅速、准确。

单式分度法计算及分度表见表 7-23。

表 7-22 分度头定数、分度盘孔数和交换齿轮齿数

分度头形式	定数	分度盘的孔数	交换齿轮齿数
带一块分度盘	40	正面：24、25、28、30、34、37、38、39、41、42、43 反面：46、47、49、51、53、54、57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100
带两块分度盘	40	第一块 正面：24、25、28、30、34、37 反面：38、39、41、42、43 第二块 正面：46、47、49、51、53、54 反面：57、58、59、62、66	25、25、30、35、40、50、55、60、70、80、90、100

表 7-23 单式分度法计算及分度表

$$n(\text{手柄的转数})=\frac{40(\text{分度头定数})}{z(\text{工件等分数})}$$

单式分度表（分度头定数 40）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
2	任意	20	—	21	42	1	38	40	任意	1	—
3	24	13	8	22	66	1	54	41	41	—	40
4	任意	10	—	23	46	1	34	42	42	—	40
5	任意	8	—	24	24	1	16	43	43	—	40
6	24	6	16	25	25	1	15	44	66	—	60
7	28	5	20	26	39	1	21	45	54	—	48
8	任意	5	—	27	54	1	26	46	46	—	40
9	54	4	24	28	42	1	18	47	47	—	40
10	任意	4	—	29	58	1	22	48	24	—	20
11	66	3	42	30	24	1	8	49	49	—	40
12	24	3	8	31	62	1	18	50	25	—	20
13	39	3	3	32	28	1	7	51	51	—	40
14	28	2	24	33	66	1	14	52	39	—	30
15	24	2	16	34	34	1	6	53	53	—	40
16	24	2	12	35	28	1	4	54	54	—	40
17	34	2	12	36	54	1	6	55	66	—	48
18	54	2	12	37	37	1	3	56	28	—	20
19	38	2	4	38	38	1	2	57	57	—	40
20	任意	2	—	39	39	1	1	58	58	—	40

（续）

工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄回转数	转过的孔距数
59	59	—	40	98	49	—	20	150	30	—	8
60	42	—	28	100	25	—	10	152	38	—	10
62	62	—	40	102	51	—	20	155	62	—	16
64	24	—	15	104	39	—	15	156	39	—	10
65	39	—	24	105	42	—	16	160	28	—	7
66	66	—	40	106	53	—	20	164	41	—	10
68	34	—	20	108	54	—	20	165	66	—	16
70	28	—	16	110	66	—	24	168	42	—	10
72	54	—	30	112	28	—	10	170	34	—	8
74	37	—	20	114	57	—	20	172	43	—	10
75	30	—	16	115	46	—	16	176	66	—	15
76	38	—	20	116	58	—	20	180	54	—	12
78	39	—	20	118	59	—	20	184	46	—	10
80	34	—	17	120	66	—	22	185	37	—	8
82	41	—	20	124	62	—	20	188	47	—	10
84	42	—	20	125	25	—	8	190	38	—	8
85	34	—	16	130	39	—	12	192	24	—	5
86	43	—	20	132	66	—	20	195	39	—	8
88	66	—	30	135	54	—	16	196	49	—	10
90	54	—	24	136	34	—	10	200	30	—	6
92	46	—	20	140	28	—	8	204	51	—	10
94	47	—	20	144	54	—	15	205	41	—	8
95	38	—	16	145	58	—	16	210	42	—	8
96	24	—	10	148	37	—	10				

（2）角度分度法　由分度头的传动关系可知，分度手柄转过40圈，分度头主轴带动工件转过1圈，也就是转了360°。所以，分度手柄转过1圈，工件只转过9°。根据这一关系，则：

工件角度以“度”为单位时：

$$n=\frac{\theta^\circ}{9^\circ}$$

工件角度以“分”为单位时：

$$n=\frac{\theta'}{9\times60'}=\frac{\theta'}{540'}$$

工件角度以“秒”为单位时：

$$n=\frac{\theta''}{9\times60\times60''}=\frac{\theta''}{32400''}$$

式中　n——分度头手柄转数；

θ——工件等分的角度。

当工件所需的角度不带有分、秒的数值时，则可按公式 $n=\frac{\theta}{9^\circ}$ 计算出分度手柄的转数 n，利用分度盘进行分度。例如在圆柱工件上铣削两条夹角为118°的槽，则

$$n=\frac{\theta}{9^\circ}=\frac{118^\circ}{9^\circ}=13\frac{1}{9}=13\frac{6}{54}$$

即分度手柄应转过13圈加上（孔圈上为54个孔）6个孔距。

当工件分度的角度带有分、秒数值时，则可采用计算和查表相结合的方法来选择分度盘的孔数和分度手柄的转数。

例：工件铣削时，要求转过20°4′38″，求分度手柄的转数。

解：$n=\frac{\theta}{9^\circ}=\frac{20^\circ4'38''}{9^\circ}=2$（转），余2°4′38″

所余的2°4′38″可由表7-24中查得与之最接近的角度值为2°4′37″，对应的分度盘的孔数是39孔距数是9，即工件转20°4′38″时，分度手柄转过

表 7-24 角度分度表

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
0	8	11	66	1	0.0152	0	27	27	59	3	0.0508
0	8	43	62	1	0.0161	0	27	42	39	2	0.0513
0	9	9	59	1	0.0169	0	27	56	58	3	0.0517
0	9	19	58	1	0.0172	0	28	25	38	2	0.0526
0	9	28	57	1	0.0175	0	28	25	57	3	0.0526
0	10	0	54	1	0.0185	0	29	11	37	2	0.0541
0	10	11	53	1	0.0189	0	30	0	54	3	0.0556
0	10	35	51	1	0.0196	0	30	34	53	3	0.0566
0	11	1	49	1	0.0204	0	31	46	34	2	0.0588
0	11	29	47	1	0.0213	0	31	46	51	3	0.0588
0	11	44	46	1	0.0217	0	32	44	66	4	0.0606
0	12	34	43	1	0.0233	0	33	4	49	3	0.0612
0	12	51	42	1	0.0238	0	34	28	47	3	0.0638
0	13	10	41	1	0.0244	0	34	50	62	4	0.0645
0	13	51	39	1	0.0256	0	35	13	46	3	0.0652
0	14	10	38	1	0.0263	0	36	0	30	2	0.0667
0	14	36	37	1	0.0270	0	36	37	59	4	0.0678
0	15	53	34	1	0.0294	0	37	14	58	4	0.0690
0	16	22	66	2	0.0303	0	37	40	43	3	0.0698
0	17	25	62	2	0.0323	0	37	54	57	4	0.0702
0	18	0	30	1	0.0333	0	38	34	28	2	0.0714
0	18	18	59	2	0.0339	0	38	34	42	3	0.0714
0	18	37	58	2	0.0345	0	39	31	41	3	0.0732
0	18	57	57	2	0.0351	0	40	0	54	4	0.0741
0	19	17	28	1	0.0357	0	40	45	53	4	0.0755
0	20	0	54	2	0.0370	0	40	55	66	5	0.0758
0	20	23	53	2	0.0377	0	41	32	39	3	0.0769
0	21	11	51	2	0.0392	0	42	21	51	4	0.0784
0	21	36	25	1	0.0400	0	42	38	38	3	0.0789
0	22	2	49	2	0.0408	0	43	12	25	2	0.0800
0	22	30	24	1	0.0417	0	43	33	62	5	0.0806
0	22	59	47	2	0.0426	0	43	47	37	3	0.0811
0	23	29	46	2	0.0435	0	44	5	49	4	0.0816
0	24	33	66	3	0.0455	0	45	0	24	2	0.0833
0	25	7	43	2	0.0465	0	45	46	59	5	0.0847
0	25	43	42	2	0.0476	0	45	57	47	4	0.0851
0	26	8	62	3	0.0484	0	46	33	58	5	0.0862
0	26	21	41	2	0.0488	0	46	57	46	4	0.0870

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
0	47	22	57	5	0.0877	1	9	14	39	5	0.1282
0	47	39	34	3	0.0882	1	9	41	62	8	0.1290
0	49	5	66	6	0.0909	1	10	0	54	7	0.1296
0	50	0	54	5	0.0926	1	10	26	46	6	0.1304
0	50	14	43	4	0.0930	1	10	38	38	5	0.1316
0	50	57	53	5	0.0943	1	11	19	53	7	0.1321
0	51	26	42	4	0.0952	1	12	0	30	4	0.1333
0	52	15	62	6	0.0968	1	12	58	37	5	0.1351
0	52	41	41	4	0.0976	1	13	13	59	8	0.1356
0	52	56	51	5	0.0980	1	13	38	66	9	0.1364
0	54	0	30	3	0.1000	1	14	7	51	7	0.1373
0	54	55	59	6	0.1017	1	14	29	58	8	0.1379
0	55	6	49	5	0.1020	1	15	21	43	6	0.1395
0	55	23	39	4	0.1026	1	15	47	57	8	0.1404
0	55	52	58	6	0.1034	1	17	9	28	4	0.1429
0	56	51	38	4	0.1053	1	17	9	42	6	0.1429
0	56	51	57	6	0.1053	1	17	9	49	7	0.1429
0	57	16	66	7	0.1061	1	18	23	62	9	0.1452
0	57	27	47	5	0.1064	1	19	1	41	6	0.1463
0	57	51	28	3	0.1071	1	19	25	34	5	0.1471
0	58	23	37	4	0.1081	1	20	0	54	8	0.1481
0	58	42	46	5	0.1087	1	20	26	47	7	0.1489
1	0	0	54	6	0.1111	1	21	31	53	8	0.1509
1	0	58	62	7	0.1129	1	21	49	66	10	0.1515
1	1	8	53	6	0.1132	1	22	10	46	7	0.1522
1	2	47	43	5	0.1163	1	22	22	59	9	0.1525
1	3	32	34	4	0.1176	1	23	5	39	6	0.1538
1	3	32	51	6	0.1176	1	23	48	58	9	0.1552
1	4	4	59	7	0.1186	1	24	42	51	8	0.1569
1	4	17	42	5	0.1190	1	25	16	38	6	0.1579
1	4	48	25	3	0.1200	1	25	16	57	9	0.1579
1	5	1	58	7	0.1207	1	26	24	25	4	0.1600
1	5	27	66	8	0.1212	1	27	6	62	10	0.1613
1	5	51	41	5	0.1220	1	27	34	37	6	0.1622
1	6	7	49	6	0.1224	1	27	54	43	7	0.1628
1	6	19	57	7	0.1228	1	28	10	49	8	0.1633
1	7	30	24	3	0.1250	1	30	0	30	5	0.1667
1	8	56	47	6	0.1277	1	30	0	42	7	0.1667

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
1	30	0	54	9	0.1667	1	51	43	58	12	0.2069
1	30	0	66	11	0.1667	1	52	5	53	11	0.2075
1	31	32	59	10	0.1695	1	52	30	24	5	0.2083
1	31	42	53	9	0.1698	1	53	1	43	9	0.2093
1	31	55	47	8	0.1702	1	53	14	62	13	0.2097
1	32	12	41	7	0.1707	1	53	41	38	8	0.2105
1	33	6	58	10	0.1724	1	53	41	57	12	0.2105
1	33	55	46	8	0.1739	1	54	33	66	14	0.2121
1	34	44	57	40	0.1754	1	54	54	47	10	0.2128
1	35	18	34	6	0.1765	1	55	43	28	6	0.2143
1	35	18	51	9	0.1765	1	55	43	42	9	0.2143
1	35	48	62	11	0.1774	1	56	28	51	11	0.2157
1	36	26	28	5	0.1786	1	56	45	37	8	0.2162
1	36	55	39	7	0.1795	1	57	23	46	10	0.2174
1	38	11	66	12	0.1818	1	58	32	41	9	0.2195
1	39	11	49	9	0.1837	1	58	59	59	13	0.2203
1	39	28	38	7	0.1842	2	0	0	54	12	0.2222
1	40	0	54	10	0.1852	2	1	2	58	13	0.2241
1	40	28	43	8	0.1860	2	1	13	49	11	0.2245
1	40	41	59	11	0.1864	2	1	56	62	14	0.2258
1	41	53	53	10	0.1887	2	2	16	53	12	0.2264
1	42	10	37	7	0.1892	2	2	44	66	15	0.2273
1	42	25	58	11	0.1897	2	3	9	57	13	0.2281
1	42	51	42	8	0.1905	2	4	37	39	9	0.2308
1	43	24	47	9	0.1915	2	5	35	43	10	0.2326
1	44	13	57	11	0.1930	2	6	0	30	7	0.2333
1	44	31	62	12	0.1935	2	6	23	47	11	0.2340
1	45	22	41	8	0.1951	2	7	4	34	8	0.2353
1	45	39	46	9	0.1957	2	7	4	51	12	0.2353
1	45	53	51	10	0.1961	2	7	54	38	9	0.2368
1	46	22	66	13	0.1970	2	8	8	59	14	0.2373
1	48	0	25	5	0.2000	2	8	34	42	10	0.2381
1	48	0	30	6	0.2000	2	9	8	46	11	0.2391
1	49	50	59	12	0.2034	2	9	36	25	6	0.2400
1	50	0	54	11	0.2037	2	10	0	54	13	0.2407
1	50	12	49	10	0.2041	2	10	21	58	14	0.2414
1	50	46	39	8	0.2051	2	10	39	62	15	0.2419
1	51	11	34	7	0.2059	2	10	55	66	16	0.2424

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
2	11	21	37	9	0. 2432	2	32	50	53	15	0. 2830
2	11	42	41	10	0. 2439	2	34	17	28	8	0. 2857
2	12	15	49	12	0. 2449	2	34	17	42	12	0. 2857
2	12	27	53	13	0. 2453	2	34	17	49	14	0. 2857
2	12	38	57	14	0. 2456	2	35	27	66	19	0. 2879
2	15	0	28	7	0. 2500	2	35	36	59	17	0. 2881
2	15	0	24	6	0. 2500	2	36	19	38	11	0. 2895
2	17	17	59	15	0. 2542	2	36	46	62	18	0. 2903
2	17	39	51	13	0. 2549	2	37	30	24	7	0. 2917
2	17	52	47	12	0. 2553	2	38	3	41	12	0. 2927
2	18	8	43	11	0. 2558	2	38	17	58	17	0. 2931
2	18	28	39	10	0. 2564	2	38	49	34	10	0. 2941
2	19	5	66	17	0. 2576	2	38	49	51	15	0. 2941
2	19	21	62	16	0. 2581	2	40	0	54	16	0. 2963
2	19	39	58	15	0. 2586	2	40	32	37	11	0. 2973
2	20	0	54	14	0. 2593	2	40	51	47	14	0. 2979
2	20	52	46	12	0. 2609	2	41	3	57	17	0. 2982
2	21	26	42	11	0. 2619	2	42	0	30	9	0. 3000
2	22	6	38	10	0. 2632	2	43	1	53	16	0. 3019
2	22	6	57	15	0. 2632	2	43	15	43	13	0. 3023
2	22	39	53	14	0. 2642	2	43	38	66	20	0. 3030
2	22	56	34	9	0. 2647	2	44	21	46	14	0. 3043
2	23	16	49	13	0. 2653	2	44	45	59	18	0. 3051
2	24	0	30	8	0. 2667	2	45	18	49	15	0. 3061
2	24	53	41	11	0. 2683	2	45	20	62	19	0. 3065
2	25	57	37	10	0. 2703	2	46	9	39	12	0. 3077
2	26	26	59	16	0. 2712	2	47	9	42	13	0. 3095
2	27	16	66	18	0. 2727	2	47	35	58	18	0. 3103
2	28	4	62	17	0. 2742	2	49	25	51	16	0. 3137
2	28	14	51	14	0. 2745	2	50	0	54	17	0. 3148
2	28	58	58	16	0. 2759	2	50	32	38	12	0. 3158
2	29	22	47	13	0. 2766	2	50	32	57	18	0. 3158
2	30	0	54	15	0. 2778	2	51	13	41	13	0. 3171
2	30	42	43	12	0. 2791	2	51	49	66	21	0. 3182
2	31	12	25	7	0. 2800	2	52	20	47	15	0. 3191
2	31	35	57	16	0. 2807	2	52	48	25	8	0. 3200
2	32	18	39	11	0. 2821	2	53	12	53	17	0. 3208
2	32	37	46	13	0. 2826	2	53	34	28	9	0. 3214

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
2	53	54	59	19	0.3220	3	17	34	41	15	0.3659
2	54	12	62	20	0.3226	3	18	0	30	11	0.3667
2	54	42	34	11	0.3235	3	18	22	49	18	0.3673
2	55	8	37	12	0.3243	3	18	37	38	14	0.3684
2	55	49	43	14	0.3256	3	18	37	57	21	0.3684
2	56	5	46	15	0.3261	3	19	34	46	17	0.3696
2	56	20	49	16	0.3265	3	20	0	54	20	0.3704
2	56	54	58	19	0.3276	3	20	19	62	23	0.8710
3	0	0	30	10	0.3333	3	20	56	43	16	0.3721
3	0	0	42	14	0.3333	3	21	11	51	19	0.3725
3	0	0	54	18	0.3333	3	21	21	59	22	0.3729
3	0	0	66	22	0.3333	3	22	30	24	9	0.3750
3	2	54	62	21	0.3387	3	23	46	53	20	0.3774
3	3	3	59	20	0.3390	3	24	19	37	14	0.3784
3	3	24	53	18	0.3396	3	24	33	66	25	0.3788
3	3	50	47	16	0.3404	3	24	50	58	22	0.3793
3	4	23	41	14	0.3415	3	25	43	42	16	0.3810
3	4	44	38	13	0.3421	3	26	28	34	13	0.3824
3	6	12	58	20	0.3448	3	26	49	47	18	0.3830
3	7	21	49	17	0.3469	3	27	42	39	15	0.3846
3	7	50	46	16	0.3478	3	28	25	57	22	0.3860
3	8	11	66	23	0.3485	3	29	2	62	24	0.3871
3	8	22	43	15	0.3488	3	29	23	40	19	0.3878
3	9	28	57	20	0.3509	3	30	0	54	21	0.3889
3	9	44	37	13	0.3514	3	30	31	59	23	0.3898
3	10	0	54	19	0.3519	3	30	44	41	16	0.3902
3	10	35	34	12	0.3529	3	31	18	46	18	0.3913
3	10	35	51	18	0.3529	3	31	46	51	20	0.3922
3	11	37	62	22	0.3548	3	32	9	28	11	0.3029
3	12	12	59	21	0.3559	3	32	44	66	26	0.3939
3	12	51	28	10	0.3571	3	33	9	38	15	0.3947
3	21	51	42	15	0.3571	3	33	29	43	17	0.3953
3	13	33	53	19	0.3585	3	33	58	53	21	0.3962
3	13	51	39	14	0.3590	3	34	8	58	23	0.3966
3	14	24	25	9	0.3600	3	36	0	25	10	0.4000
3	15	19	47	17	0.3617	3	36	0	30	12	0.4000
3	15	31	58	21	0.3621	3	37	45	62	25	0.4032
3	16	22	66	24	0.3636	3	37	54	57	23	0.4035

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
3	38	18	47	19	0.4043	3	57	58	59	26	0.4407
3	38	34	42	17	0.4048	3	58	14	34	15	0.4412
3	38	55	37	15	0.4054	3	58	36	43	19	0.4419
3	39	40	59	24	0.4068	4	0	0	54	24	0.4444
3	40	0	54	22	0.4074	4	1	17	47	21	0.4468
3	40	25	49	20	0.4082	4	1	35	38	17	0.4474
3	40	55	66	27	0.4091	4	2	4	58	26	0.4483
3	41	33	39	16	0.4103	4	2	27	49	22	0.4490
3	42	21	34	14	0.4118	4	3	32	51	23	0.4510
3	42	21	51	21	0.4118	4	3	52	62	28	0.4516
3	43	2	46	19	0.4130	4	4	17	42	19	0.4524
3	43	27	58	24	0.4138	4	4	32	53	24	0.4528
3	43	54	41	17	0.4146	4	5	27	66	30	0.4545
3	44	9	53	22	0.4151	4	6	19	57	26	0.4561
3	45	0	24	10	0.4167	4	6	31	46	21	0.4565
3	46	3	43	18	0.4186	4	7	7	59	27	0.4576
3	46	27	62	26	0.4194	4	7	30	24	11	0.4583
3	47	22	38	16	0.4211	4	8	6	37	17	0.4595
3	47	22	57	24	0.4211	4	9	14	39	18	0.4615
3	48	49	59	25	0.4237	4	10	0	54	25	0.4630
3	49	5	66	28	0.4242	4	10	15	41	19	0.4634
3	49	47	47	20	0.4255	4	10	43	28	13	0.4643
3	50	0	54	23	0.4259	4	11	10	43	20	0.4651
3	51	26	28	12	0.4286	4	11	23	58	27	0.4655
3	51	26	42	18	0.4286	4	12	0	30	14	0.4667
3	51	26	49	21	0.4286	4	12	35	62	29	0.4677
3	52	46	58	25	0.4310	4	12	46	47	22	0.4681
3	52	56	51	22	0.4314	4	13	28	49	23	0.4694
3	53	31	37	16	0.4324	4	13	38	66	31	0.4697
3	54	0	30	13	0.4333	4	14	7	34	16	0.4706
3	54	20	53	23	0.4340	4	14	7	51	24	0.4706
3	54	47	46	20	0.4348	4	14	43	53	25	0.4717
3	55	10	62	27	0.4355	4	15	47	38	18	0.4737
3	55	23	39	17	0.4359	4	15	47	57	27	0.4737
3	56	51	57	25	0.4386	4	16	16	59	28	0.4746
3	57	4	41	18	0.4390	4	17	9	42	20	0.4762
3	57	16	66	29	0.4394	4	18	16	46	22	0.4783
3	57	36	25	11	0.4400	4	19	12	25	12	0.4800

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
4	20	0	54	26	0.4815	4	45	53	51	27	0.5294
4	20	41	58	28	0.4828	4	46	22	66	35	0.5303
4	21	17	62	30	0.4839	4	46	32	49	26	0.5306
4	21	49	66	32	0.4848	4	47	14	47	25	0.5319
4	22	42	37	18	0.4865	4	47	25	62	33	0.5323
4	23	5	39	19	0.4872	4	48	0	30	16	0.5333
4	23	25	41	20	0.4878	4	48	37	58	31	0.5345
4	23	43	43	21	0.4884	4	48	50	43	23	0.4349
4	24	15	47	23	0.4894	4	49	17	28	15	0.5357
4	24	29	49	24	0.4898	4	49	45	41	22	0.5366
4	24	42	51	25	0.4902	4	50	0	54	29	0.5370
4	24	54	53	26	0.4906	4	50	46	39	21	0.5385
4	25	16	57	28	0.4912	4	51	54	37	20	0.5405
4	25	25	59	29	0.4915	4	52	30	24	13	0.5417
4	30	0	66	33	0.5000	4	52	53	59	32	0.5424
4	30	0	42	21	0.5000	4	53	29	46	25	0.5435
4	34	35	59	30	0.5085	4	53	41	57	31	0.5439
4	34	44	57	29	0.5088	4	54	33	66	36	0.5455
4	35	6	53	27	0.5094	4	55	28	53	29	0.5472
4	35	18	51	26	0.5098	4	55	43	42	23	0.5476
4	35	31	49	25	0.5102	4	56	8	62	34	0.5484
4	35	45	47	24	0.5106	4	56	28	51	28	0.5490
4	36	17	43	22	0.5116	4	57	33	49	27	0.5510
4	36	35	41	21	0.5122	4	57	56	58	32	0.5517
4	36	55	39	20	0.5128	4	58	25	38	21	0.5526
4	37	18	37	19	0.5135	4	58	43	47	26	0.5532
4	38	11	66	34	0.5152	5	0	0	54	30	0.5556
4	38	43	62	32	0.5161	5	1	24	43	24	0.5581
4	39	19	58	30	0.5172	5	1	46	34	19	0.5588
4	39	35	54	28	0.5185	5	2	2	59	33	0.5593
4	40	48	25	13	0.5200	5	2	22	25	14	0.5600
4	41	44	46	24	0.5217	5	2	44	66	37	0.5606
4	42	51	42	22	0.5238	5	2	56	41	23	0.5610
4	43	44	59	31	0.5254	5	3	9	57	32	0.5614
4	41	13	38	20	0.5263	5	4	37	39	22	0.5641
4	44	13	57	30	0.5263	5	4	50	62	35	0.5645
4	45	17	53	28	0.5283	5	5	13	46	26	0.5652
4	45	53	34	18	0.5294	5	5	40	53	30	0.5660

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
5	6	0	30	17	0.5667	5	27	16	66	40	0.6061
5	6	29	37	21	0.5676	5	27	51	28	17	0.6071
5	7	4	51	29	0.5686	5	28	14	51	34	0.6078
5	7	14	58	33	0.5690	5	28	42	46	28	0.6087
5	8	34	28	16	0.5714	5	29	16	41	25	0.6098
5	8	34	42	24	0.5714	5	29	30	59	39	0.6102
5	8	34	49	28	0.5714	5	30	0	54	33	0.6111
5	10	0	54	31	0.5741	5	30	37	49	30	0.6122
5	10	13	47	27	0.5745	5	30	58	62	38	0.6129
5	10	54	66	38	0.5758	5	31	35	57	35	0.6140
5	11	11	59	34	0.5763	5	32	18	39	24	0.6154
5	12	38	38	22	0.5789	5	33	12	47	29	0.6170
5	12	38	57	33	0.5789	5	33	32	34	21	0.6176
5	13	33	62	36	0.5806	5	34	17	42	26	0.6190
5	13	57	43	25	0.5814	5	35	10	58	36	0.6207
5	15	0	24	14	0.5833	5	35	27	66	41	0.6212
5	15	51	53	31	0.5849	5	35	41	37	23	0.6216
5	16	6	41	24	0.5854	5	36	14	53	33	0.6220
5	16	33	58	34	0.5862	5	37	30	24	15	0.6250
5	16	57	46	27	0.5870	5	38	39	59	37	0.6271
5	17	39	34	20	0.5882	5	38	49	51	32	0.6275
5	17	39	51	30	0.5582	5	39	4	43	27	0.6279
5	18	28	39	23	0.5897	5	39	41	62	39	0.6290
5	19	5	66	39	0.5909	5	40	0	54	34	0.6296
5	19	36	49	29	0.5918	5	40	26	46	29	0.6304
5	20	0	54	32	0.5926	5	41	3	38	24	0.6316
5	20	20	59	35	0.5932	5	41	3	57	36	0.6316
5	21	5	37	22	0.5946	5	41	28	49	31	0.6327
5	21	26	42	25	0.5952	5	41	42	30	19	0.6333
5	21	42	47	28	0.5957	5	42	26	41	26	0.6341
5	22	6	57	34	0.5965	5	43	38	66	42	0.6364
5	22	15	62	37	0.5968	5	44	29	58	37	0.6379
5	24	0	25	15	0.6000	5	44	41	47	30	0.6383
5	24	0	30	18	0.6000	5	45	36	25	16	0.6400
5	25	52	58	35	0.6034	5	46	9	39	25	0.6410
5	26	14	53	32	0.6038	5	46	25	53	34	0.6415
5	26	31	43	26	0.6047	5	47	9	28	18	0.6429
5	26	51	38	23	0.6053	5	47	9	42	27	0.6429

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
5	47	48	59	38	0.6441	6	10	0	54	37	0.6852
5	48	23	62	40	0.6452	6	10	35	51	35	0.6863
5	49	25	34	22	0.6471	6	12	25	58	40	0.6897
5	49	25	51	33	0.6471	6	12	51	42	29	0.6908
5	50	0	54	35	0.6481	6	13	51	39	27	0.6923
5	50	16	37	24	0.6486	6	14	31	62	43	0.6935
5	50	32	57	37	0.6491	6	14	42	49	34	0.6939
5	51	38	43	28	0.6512	6	15	15	59	41	0.6949
5	51	49	66	43	0.6515	6	15	39	46	32	0.6957
5	52	10	46	30	0.6522	6	16	22	66	46	0.6970
5	52	39	49	32	0.6531	6	16	45	43	30	0.6977
5	53	48	58	38	0.6552	6	16	59	53	37	0.6981
5	55	16	38	25	0.6579	6	18	0	30	21	0.7000
5	55	37	41	27	0.6585	6	18	57	57	40	0.7018
5	56	10	47	31	0.6596	6	19	9	47	33	0.7021
5	56	36	53	35	0.6604	6	19	28	37	26	0.7027
5	56	57	59	39	0.6610	6	20	0	54	38	0.7037
5	57	6	62	41	0.6613	6	21	11	34	24	0.7059
6	0	0	30	20	0.6667	6	21	11	51	36	0.7059
6	0	0	42	28	0.6667	6	21	43	58	41	0.7069
6	0	0	54	36	0.6667	6	21	57	41	29	0.7073
6	0	0	66	44	0.6667	6	22	30	24	17	0.7083
6	3	6	58	39	0.6724	6	23	14	62	44	0.7097
6	3	40	49	33	0.6735	6	23	41	38	27	0.7105
6	3	55	46	31	0.6739	6	24	24	59	42	0.7119
6	4	11	43	29	0.6744	6	24	33	66	47	0.7121
6	4	52	37	25	0.6757	6	25	43	28	20	0.7143
6	5	18	34	23	0.6765	6	25	43	42	30	0.7143
6	5	48	62	42	0.6774	6	25	43	49	35	0.7143
6	6	6	59	40	0.6780	6	27	10	53	38	0.7170
6	6	26	28	19	0.6786	6	27	23	46	33	0.7174
6	6	48	53	36	0.6792	6	27	42	39	28	0.7179
6	7	12	25	17	0.6800	6	28	25	57	41	0.7193
6	7	40	47	32	0.6809	6	28	48	25	18	0.7200
4	8	11	66	45	0.6818	6	29	18	43	31	0.7209
6	8	47	41	28	0.6829	6	30	0	54	39	0.7222
6	9	28	38	26	0.6842	6	30	38	47	34	0.7234
6	9	28	57	30	0.6842	6	31	2	58	42	0.7241

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
6	31	46	51	37	0.7255	6	52	56	34	26	0.7647
6	31	56	62	45	0.7258	6	52	56	51	39	0.7647
6	32	44	66	48	0.7273	6	53	37	47	36	0.7660
6	33	34	59	43	0.7288	6	54	0	30	23	0.7667
6	34	3	37	27	0.7297	6	54	25	43	33	0.7674
6	35	7	41	30	0.7317	6	55	23	39	30	0.7692
6	36	0	30	22	0.7333	6	56	51	57	44	0.7719
6	36	44	49	36	0.7347	6	57	16	66	51	0.7727
6	37	4	34	25	0.7353	6	57	44	53	41	0.7736
6	37	22	53	39	0.7358	6	58	4	62	48	0.7742
6	37	54	38	28	0.7368	6	58	47	49	38	0.7755
6	37	54	57	42	0.7368	6	58	58	58	43	0.7414
6	38	34	42	31	0.7381	7	0	0	54	42	0.7778
6	39	8	46	34	0.7391	7	1	1	59	46	0.7797
6	40	0	54	40	0.7407	7	1	28	41	32	0.7805
6	40	21	58	43	0.7414	7	2	37	46	36	0.7826
6	40	39	62	46	0.7419	7	3	15	37	29	0.7838
6	40	55	66	49	0.7424	7	3	32	51	40	0.7843
6	41	32	39	29	0.7336	7	4	17	28	22	0.7857
6	41	52	43	32	0.7442	7	4	17	42	33	0.7857
6	42	8	47	35	0.7447	7	5	6	47	37	0.7872
6	42	21	51	38	0.7451	7	5	27	66	52	0.7379
6	42	43	59	44	0.7458	7	6	19	38	30	0.7895
6	45	0	28	21	0.7500	7	6	19	57	45	0.7895
6	47	22	57	43	0.7544	7	6	46	62	49	0.7903
6	47	33	53	40	0.7547	7	6	59	43	34	0.7907
6	47	45	19	37	0.7551	7	7	30	24	19	0.7917
6	48	18	41	31	0.7561	7	7	55	53	42	0.7925
6	48	39	37	28	0.7568	7	8	17	58	46	0.7931
6	49	5	66	50	0.7576	7	8	49	34	27	0.7941
6	49	21	62	47	0.7581	7	9	14	39	31	0.7949
6	49	39	58	44	0.7586	7	9	48	49	39	0.7959
6	50	0	54	41	0.7593	7	10	0	54	43	0.7963
6	50	24	25	19	0.7600	7	10	10	59	47	0.7966
6	50	52	46	35	0.7609	7	12	0	30	24	0.8000
6	51	26	42	32	0.7619	7	13	38	66	53	0.8030
6	51	52	59	45	0.7627	7	14	7	51	41	0.8039
6	52	6	38	29	0.7632	7	14	21	46	37	0.8043

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
7	14	58	41	33	0.8049	7	36	12	58	49	0.8448
7	15	29	62	50	0.8065	7	36	55	39	33	0.8462
7	15	47	57	46	0.8070	7	37	38	59	50	0.8475
7	16	36	47	38	0.8085	7	37	50	46	39	0.8478
7	17	9	42	34	0.8095	7	38	11	66	56	0.8485
7	17	35	58	47	0.8103	7	38	29	53	45	0.8491
7	17	50	37	30	0.8108	7	39	34	47	40	0.8511
7	18	7	53	43	0.8113	7	40	0	54	46	0.8519
7	19	19	59	48	0.8136	7	40	35	34	29	0.8529
7	19	32	43	35	0.8140	7	40	59	41	35	0.8537
7	20	0	54	44	0.8148	7	41	37	62	53	0.8548
7	20	32	38	31	0.8158	7	42	51	28	24	0.8571
7	20	40	49	40	0.8163	7	42	51	42	36	0.8571
7	21	49	66	54	0.8182	7	42	51	49	42	0.8571
7	23	5	39	32	0.8205	7	44	13	57	49	0.8596
7	23	34	28	23	0.8214	7	44	39	43	37	0.8605
7	24	12	62	51	0.8226	7	45	31	58	50	0.8621
7	24	42	34	28	0.8235	7	45	53	51	44	0.8627
7	24	42	51	42	0.8235	7	46	22	66	57	0.8636
7	25	16	57	47	0.8246	7	46	47	59	51	0.8644
7	26	5	46	38	0.8261	7	47	2	37	32	0.8649
7	26	54	58	48	0.8276	7	48	0	30	26	0.8667
7	27	48	41	34	0.8293	7	48	41	53	46	0.8679
7	28	5	47	39	0.8298	7	48	57	38	33	0.8684
7	28	18	53	44	0.8302	7	49	34	46	40	0.8696
7	28	28	59	49	0.8305	7	50	0	54	47	0.8704
7	30	0	30	25	0.8333	7	50	19	62	54	0.8710
7	30	0	42	35	0.8333	7	50	46	39	34	0.8718
7	30	0	54	45	0.8333	7	51	4	47	41	0.8723
7	30	0	66	55	0.8333	7	52	30	24	21	0.8750
7	31	50	49	41	0.8367	7	53	41	57	50	0.8772
7	32	6	43	36	0.8372	7	53	53	49	43	0.8776
7	32	26	37	31	0.8378	7	54	9	41	36	0.8780
7	32	54	62	52	0.8387	7	54	33	66	58	0.8788
7	33	36	25	21	0.8400	7	54	50	58	51	0.8793
7	34	44	38	32	0.8421	7	55	12	25	22	0.8800
7	34	44	57	48	0.8421	7	55	43	42	37	0.8810
7	35	18	51	43	0.8431	7	55	56	59	52	0.8814

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
7	56	28	34	36	0.8824	8	17	39	51	47	0.9216
7	56	28	51	45	0.8824	8	18	28	39	36	0.9231
7	57	13	43	38	0.8837	8	19	5	66	61	0.9242
7	58	52	53	47	0.8868	8	19	15	53	49	0.9245
7	58	59	62	55	0.8871	8	20	0	54	50	0.9259
8	0	0	54	48	0.8889	8	20	29	41	38	0.9268
8	1	18	46	41	0.8913	8	21	25	28	26	0.9286
8	1	37	37	33	0.8919	8	21	25	42	39	0.9286
8	2	9	28	25	0.8929	8	22	6	57	53	0.9298
8	2	33	47	42	0.8936	8	22	20	43	40	0.9302
8	2	44	66	59	0.8939	8	22	46	58	54	0.9310
8	3	9	38	34	0.8947	8	23	23	59	55	0.9322
8	3	9	57	51	0.8947	8	24	0	30	28	0.9333
8	4	8	58	52	0.8966	8	24	47	46	43	0.9348
8	4	37	39	35	0.8974	8	25	10	62	58	0.9355
8	4	54	49	44	0.8980	8	25	32	47	44	0.9362
8	5	5	59	53	0.8983	8	26	56	49	46	0.9388
8	6	0	30	27	0.9000	8	27	16	66	62	0.9394
8	7	4	51	46	0.9020	8	28	14	34	32	0.9412
8	7	19	41	37	0.9024	8	28	14	51	48	0.9412
8	7	44	62	56	0.9032	8	29	26	53	50	0.9434
8	8	34	42	38	0.9048	8	30	0	54	51	0.9444
8	9	3	53	48	0.9057	8	30	49	37	35	0.9459
8	9	46	43	39	0.9070	8	31	35	38	36	0.9474
8	10	0	54	49	0.9074	8	31	35	57	54	0.9474
8	10	55	66	60	0.9091	8	32	4	58	55	0.9483
8	12	21	34	31	0.9118	8	32	18	39	37	0.9487
8	12	38	57	52	0.9123	8	32	33	59	56	0.9492
8	13	3	46	42	0.9130	8	33	40	41	39	0.9512
8	13	27	58	53	0.9138	8	33	52	62	59	0.9516
8	14	3	47	43	0.9149	8	34	17	42	40	0.9524
8	14	14	59	54	0.9153	8	34	53	43	41	0.9535
8	15	0	24	22	0.9167	8	35	27	66	63	0.9545
8	15	55	49	45	0.9184	8	36	31	46	44	0.9565
8	16	13	37	34	0.9189	8	37	1	47	45	0.9574
8	16	27	62	57	0.9194	8	37	30	24	23	0.9583
8	16	48	25	23	0.9200	8	37	58	49	47	0.9592
8	17	22	38	35	0.9211	8	38	24	25	24	0.9600

（续）

分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数	分度头主轴的转角			分度盘的孔数	转过的孔距数	折合成手柄的转数
(°)	(′)	(″)				(°)	(′)	(″)			
8	38	44	51	49	0.9608	8	47	9	42	41	0.9762
8	39	37	53	51	0.9623	8	47	27	43	42	0.9767
8	40	0	54	52	0.9630	8	48	16	46	45	0.9783
8	40	43	28	27	0.9643	8	48	31	47	46	0.9787
8	41	3	57	55	0.9649	8	48	59	49	48	0.9796
8	41	23	58	56	0.9655	8	49	25	51	50	0.9804
8	41	42	59	57	0.9661	8	49	49	53	52	0.9811
8	42	0	30	29	0.9667	8	50	0	54	53	0.9815
8	42	35	62	60	0.9677	8	50	32	57	56	0.9825
8	43	38	66	64	0.9697	8	50	41	58	57	0.9828
8	44	7	34	33	0.9706	8	50	51	59	58	0.9831
8	45	24	37	36	0.9730	8	51	17	62	61	0.9839
8	45	47	38	37	0.9737	8	51	49	66	65	0.9848
8	46	1	39	38	0.9744	9	0	0	66	65	1.0000
8	46	50	41	40	0.9756						

$$n = 2\frac{9}{39}\text{（转）}$$

其误差为 20°4′38″－20°4′37″＝1″。

（3）差动分度法　生产中，当遇到工件的等分数 z 和分度头的定数 40 不能相约（如 $z=79$），或虽然能相约，但相约后分度盘上没有所需要的孔圈（如 $z=126$ 时，约后要求孔圈上的孔数为 63），如 61、63、79、101、109、126、127 等数字时，分度时就不能使用单式分度法，而可以用差动分度法来完成分度。

图 7-160 所示为差动分度交换齿轮装置。差动分度法是利用交换齿轮 z_1、z_2、z_3、z_4 等齿轮组成的轮系（分度头上使用的交换齿轮的齿数见表 7-22），把分度头的主轴和挂轮轴连接起来。松开分度盘上的紧固螺钉，使分度手柄转动时，分度盘也随着分度手柄以相同（或相反）的方向转动。因此，分度手柄的实际转数是分度手柄相对于分度盘的转数与分度盘本身转数之和（或差）。

例如工件的等分数 $z=61$，按单式分度公式，分度手柄应转过 $n=\frac{40}{61}$转，而分度盘上没有 61 的孔圈，此时可以采用差动分度。其方法是：先取一个与 z 相近又能作单式分度的假定等分数 z_0（本例中取 $z_0=60$），然后按 z_0 选择孔圈，并使分度手柄相对分度盘转过 n_0，即

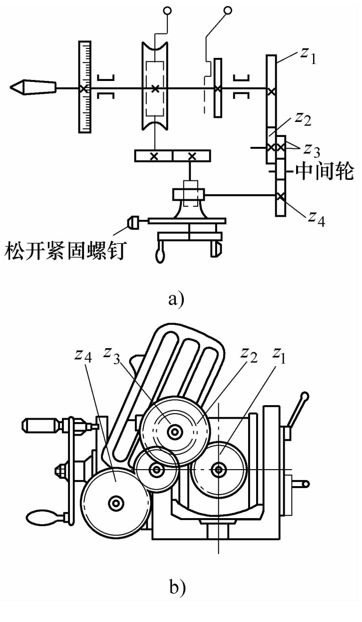


图 7-160　差动分度交换齿轮装置

a）分度头及交换齿轮传动系统

b）交换齿轮传动关系

$$n_0=\frac{40}{z_0}=\frac{40}{60}$$

显然，转数 $n_0\left(\frac{40}{60}\right)$比 $n\left(\frac{40}{61}\right)$多了$\frac{40}{60}-\frac{40}{61}=\frac{40}{60\times61}$转，如果在按$\frac{40}{60}$转动分度手柄的同时，使分度盘相应地倒转$\frac{40}{60\times61}$，就可以解决 $z=61$ 的分度问题了。所以，分度手柄的实际转数 n 是 n_0 及 $n_盘$ 的合成（见图7-161），即

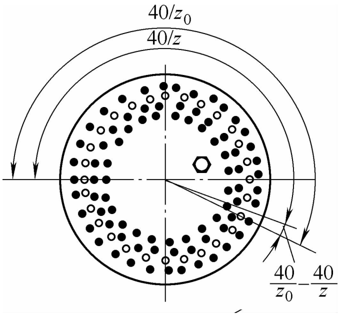


图7-161 差动分度原理示意图

$$n=n_0+n_盘$$

$n_盘$ 是由分度头主轴经交换齿轮 z_1、z_2、z_3、z_4（见图7-160）传动分度盘来实现，即

$$n_盘=\frac{1}{z}\frac{z_1z_3}{z_2z_4}$$

由上式可以得出：

$$\frac{40}{z}=\frac{40}{z_0}+\frac{1}{z}\frac{z_1z_3}{z_2z_4}$$

整理后，可得到交换齿轮的传动比 i 为

$$i=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{40\ (z_0-z)}{z_0}$$

式中 z_1、z_3——主动交换齿轮的齿数；
z_2、z_4——从动交换齿轮的齿数；
z——实际的等分数；
z_0——假定的等分数。

由上式可见，当 $z_0<z$ 时，交换齿轮的传动比是负值；反之为正值。将本例的 z（61）和 z_0（60）代入上式后，可得：

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{40\ (60-61)}{60}=-\frac{40}{60}=-\frac{2}{3}=-\frac{30\times40}{60\times30}$$

即用 $z_1=30$、$z_2=60$、$z_3=40$、$z_4=30$ 作交换齿轮，可完成 $z=61$ 的分度。

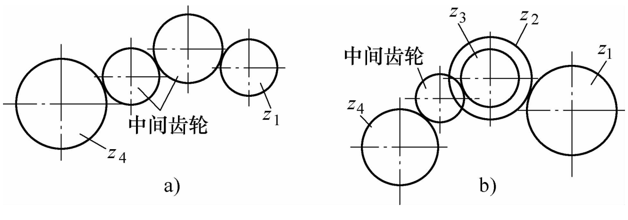
差动分度时，分度盘的转向非常重要。若 $z_0<z$，分度盘与分度手柄的转向相反；若 $z_0>z$，则两者转向相同。转向的调整由交换齿轮中加的中间齿轮的情况来决定（见表7-25），但中间齿轮不改变交换齿轮传动比的数值。

实际使用差动分度法时，可从表7-26中直接查到所需的数据。必须指出，此表所列数据是按 $z_0<z$ 计算所得，可用于定数为40的任何型号的万能分度头，但在配置中间齿轮时，必须使分度盘和分度手柄的转向相反。此外，差动分度的交换齿轮、孔圈、孔距调整好后，可先用切痕法检查分度是否正确，确认无误后，再对工件进行铣削加工。

表7-25 分度头交换齿轮装置表

z_0 和 z 相比	传动比 i	手柄和分度盘回转方向	1对交换齿轮	2对交换齿轮
$z_0>z$	正	相同	加1个中间轮	不加中间轮
$z_0<z$	负	相反	加2个中间轮	加1个中间轮

表7-26 差动分度表（分度头的传动定数为40）



（续）

工件的等分数	假定的等分数	分度盘的孔数	转过的孔距数	交换齿轮				F11250 型分度头交换齿轮的型式
				z_1	z_2	z_3	z_4	
61	60	30	20	40	—	—	60	*a*
63	60	30	20	60	—	—	30	*a*
67	64	24	15	90	40	50	60	*b*
69	66	66	40	100	—	—	55	*a*
71	70	49	28	40	—	—	70	*a*
73	70	49	28	60	—	—	35	*a*
77	75	30	16	80	60	40	50	*b*
79	75	30	16	80	50	40	30	*b*
81	80	30	15	25	—	—	50	*a*
83	80	30	15	60	—	—	40	*a*
87	84	42	20	50	—	—	35	*a*
89	88	66	30	25	—	—	55	*a*
91	90	54	24	40	—	—	90	*a*
93	90	54	24	40	—	—	30	*a*
97	96	24	10	25	—	—	60	*a*
99	96	24	10	50	—	—	40	*a*
101	100	30	12	40	—	—	100	*a*
103	100	30	12	60	—	—	50	*a*
107	100	30	12	70	—	—	25	*a*
109	105	42	16	80	30	40	70	*b*
111	105	42	16	80	—	—	35	*a*
113	110	66	24	60	—	—	55	*a*
117	110	66	24	70	55	50	25	*b*
119	110	66	24	90	55	60	30	*b*
121	120	54	18	30	—	—	90	*a*
122	120	54	18	40	—	—	60	*a*
123	120	54	18	25	—	—	25	*a*
126	120	54	18	50	—	—	25	*a*
127	120	54	18	70	—	—	30	*a*
128	120	54	18	80	—	—	30	*a*
129	120	54	18	90	—	—	30	*a*
131	125	25	8	80	50	30	25	*b*
133	125	25	8	80	50	40	25	*b*
134	132	66	20	50	55	40	60	*b*
137	132	66	20	100	25	55	30	*b*
138	135	54	16	80	—	—	90	*a*

（续）

工件的等分数	假定的等分数	分度盘的孔数	转过的孔距数	交换齿轮				F11250 型分度头交换齿轮的型式
				z_1	z_2	z_3	z_4	
139	135	54	16	80	30	40	90	*b*
141	140	42	12	40	—	—	70	*b*
142	140	42	12	40	50	25	70	*a*
143	140	42	12	30	—	—	35	*a*
146	140	42	12	60	—	—	35	*a*
147	140	42	12	50	—	—	25	*a*
149	140	42	12	90	25	50	70	*b*
151	150	30	8	40	50	30	90	*b*
153	150	30	8	40	—	—	50	*a*
154	150	30	8	40	60	80	50	*b*
157	150	30	8	70	30	40	50	*b*
158	150	30	8	80	30	40	50	*b*
159	150	30	8	90	30	40	50	*b*
161	160	28	7	25	—	—	100	*a*
162	160	28	7	25	—	—	50	*a*
163	160	28	7	30	—	—	40	*a*
166	160	28	7	60	—	—	40	*a*
167	160	28	7	70	—	—	40	*a*
169	160	28	7	90	—	—	40	*a*
171	168	42	10	50	—	—	70	*a*
173	168	42	10	100	35	25	60	*b*
174	168	42	10	50	—	—	35	*a*
175	168	42	10	50	—	—	30	*a*
177	176	66	15	40	55	25	80	*b*
178	176	66	15	40	55	50	80	*b*
170	176	66	15	60	55	50	80	*b*
181	180	54	12	40	90	25	50	*b*
182	180	54	12	40	—	—	90	*a*
183	180	54	12	40	—	—	60	*a*
186	180	54	12	40	—	—	30	*a*
187	180	54	12	40	60	70	30	*b*
189	180	54	12	50	—	—	25	*b*
191	180	54	12	80	60	55	30	*b*
193	192	24	5	30	90	50	80	*b*
194	192	24	5	25	—	—	60	*a*
197	192	24	5	100	30	25	80	*b*
198	192	24	5	50	—	—	40	*a*
199	192	24	5	70	30	50	80	*b*

（4）直线移距分度法　直线移距分度法就是把分度头主轴或侧轴（挂轮轴）和纵向工作台丝杠用交换齿轮连接起来，移距时只要转动分度手柄，通过交换齿轮传动，使纵向工作台作精确的移距。这种方法适用于加工精度较高的齿条和直尺刻线等的等分移距分度。常用的直线移距分度法有以下两种：

1）主轴交换齿轮法（见图 7-162）。先在分度头主轴后锥孔内插入安装交换齿轮的心轴，然后主轴与纵向工作台丝杠之间装上交换齿轮，当转动分度手柄时，通过交换齿轮将运动传至纵向丝杠，使纵向工作台产生移距。由于分度头中蜗杆、蜗轮传动的降速比较大（1∶40），故分度手柄转若干转后，纵向工作台才移动一个较短的距离。因此，这种移距方法适用于间隔距离较小或移距精度要求较高的工件。由图 7-162 可知，交换齿轮的计算公式为

$$n\frac{1}{40}\frac{z_1z_3}{z_2z_4}P=S$$

式中　n——每次移距分度手柄的转数；

40——分度头定数；

z_1、z_3——交换齿轮主动轮的齿数；

z_2、z_4——交换齿轮从动轮的齿数；

P——铣床纵向工作台丝杠螺距（mm）；

S——工件每格的距离（mm）。

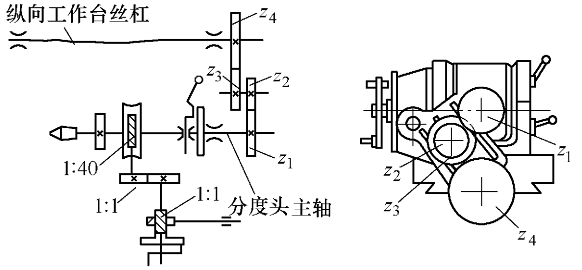


图 7-162　主轴交换齿轮法

式中的 n 虽然可以任意选取，但为了保证计算的交换齿轮传动比合理（不大于 2.5），使交换齿轮传动平稳，n 尽可能在 1～10 的整数范围内选取。

2）侧轴交换齿轮法　对于移距间隔较大的工件，如果采用主轴交换齿轮法分度，则每次分度时手柄要转很多圈，造成工时浪费。而改用侧轴交换齿轮法（见图 7-163），即将交换齿轮配置在分度头侧轴和纵向工作台丝杠之间，这样就可不经过蜗轮蜗杆传动副，没有 1∶40的减速，分度盘转过较少的转数，就可获得较大的移距量。交换齿轮的计算公式为

$$n\frac{z_1z_3}{z_2z_4}P=S$$

式中　n——每次移距分度手柄的转数；

z_1、z_3——交换齿轮主动轮的齿数；

z_2、z_4——交换齿轮从动轮的齿数；

P——铣床纵向工作台丝杠的螺距（mm）；

S——工件每格的距离（mm）。

式中 n 值的选择原则与主轴交换齿轮法相同。为保证交换齿轮的传动比不大于 2.5，

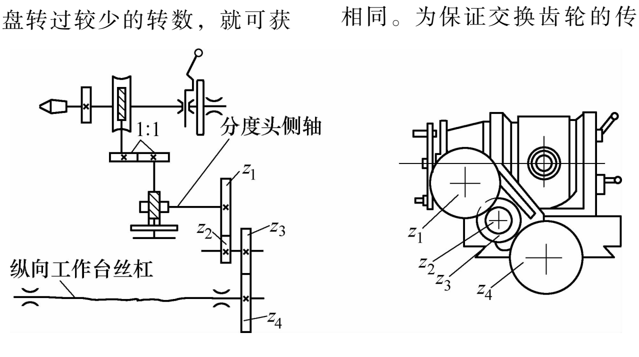


图 7-163　侧轴交换齿轮法

n 值一般取小于10的整数。

必须指出，采用侧轴交换齿轮法，在分度时不能将分度手柄的定位销拔出，而应该松开分度盘的紧固螺钉，连同分度盘一起转动。为了正确控制分度手柄的转数，可将分度盘的紧固螺钉改装为侧面定位销（见图7-164），并在分度盘外圆上钻一个定位孔。分度时，左手

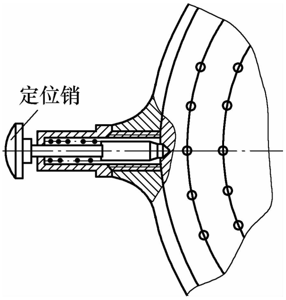


图7-164 紧固螺钉改装为侧面定位销

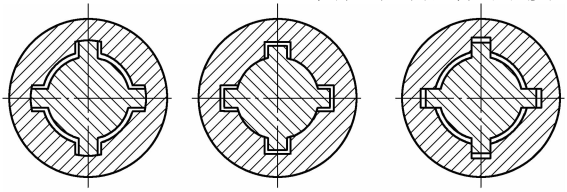
拔出侧面定位销，右手将分度手柄连同分度盘一起转动，当转到预定的转数时，靠弹簧的作用，侧面定位销就自动弹入定位孔内，完成一次分度。

7.3.6 铣削外花键

花键的种类较多。按其齿廓形状分类，可分为矩形花键、梯形花键、三角形花键和渐开线形花键4种，其中，以矩形花键应用最广。矩形花键的定心方式有外径定心、内径定心和键侧定心三种（见图7-165）。由于按外径定心的花键轴与花键孔的制造工艺较方便，连接精度也较容易控制，故其应用较为广泛。

1. 单刀铣削矩形外花键

在铣床上用单刀铣削外花键，主要适用于单件生产或设备的维修加工。



a) b) c)

图7-165 矩形花键的定心方式

a）外径定心 b）内径定心 c）键侧定心

（1）工件的安装和校正（见图7-166） 工件装夹在分度头上的自定心卡盘上并用尾架顶尖支承，然后用指示表进行三个方面的校正：

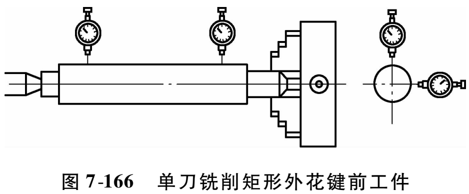


图7-166 单刀铣削矩形外花键前工件的装夹和校正

1）工件两端的径向圆跳动量。

2）工件的上母线对工作台台面的平行度。

3）工件的侧母线对纵向工作台移动方向的平行度。

（2）铣削方法 用单刀铣削外花键通常有两种方法，一是先铣中间槽，后铣键槽；另一种是先铣键侧，后铣中间槽。现将两种方法分别介绍如下：

1）先铣中间槽，后铣键侧。

① 铣刀的选择。选用直齿三面刃铣刀，铣刀外径尽可能小些，以减少铣刀的端面圆跳动，使铣削平稳，保证加工表面粗糙度值达到 $Ra6.3\mu m$。铣刀的宽度要选择适当，以免铣刀过宽而损坏键侧。铣刀最大宽度 B'（见图7-167）可按下式计算：

$$\frac{B'}{2}=\frac{d}{2}\sin\beta=\frac{d}{2}\sin\ (\alpha-\phi)$$

$$=\frac{d}{2}\sin\left[\frac{180°}{z}-\arcsin\left(\frac{b}{d}\right)\right]$$

$$B'=d\sin\left[\frac{180°}{z}-\arcsin\left(\frac{b}{d}\right)\right]\ (\mathrm{mm})$$

式中 d——花键轴底径（mm）；

b——花键键宽（mm）；

z——花键齿数。

为避免装配时槽底与轴套相碰，槽底需要

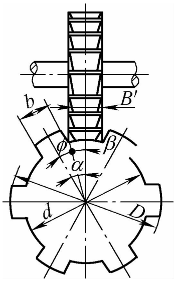


图7-167 铣刀最大宽度的计算

铣平。由图7-168可见，平底花键的底径尺寸 $d'=\sqrt{d^2-B'^2}$（mm），故铣削深度 $H=\dfrac{D-d'}{2}$。

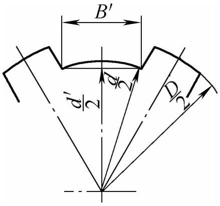


图7-168 铣削平底花键底径的计算

② 对刀。对刀时，必须使三面刃铣刀的侧切削刃和花键键侧重合，以保证花键的宽度及键侧的对称性。常用的对刀方法有以下几种：

a. 擦边法。如图7-169所示，先使铣刀侧面切削刃微微接触工件的外圆表面，然后垂直向下退出工件，再使横向工作台朝铣刀方向移动一个距离 s，为

$$s=\frac{D-b}{2}$$

式中 D——工件外径（mm）；

b——花键宽度（mm）。

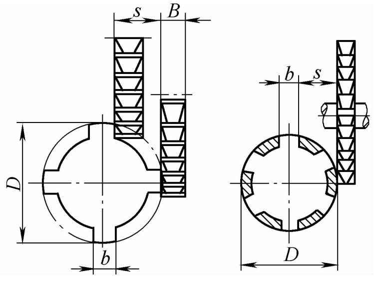


图7-169 擦边法

这种对刀方法简单，但当工件外径较大时，因受铣刀直径的限制，刀杆可能会和工件相碰，则不能采用这种方法对刀。

b. 切痕法。这种方法与用盘形槽铣刀铣轴上平键槽的切痕对刀法相似（参见图7-109及相关说明），但铣花键时对刀，应使切痕的宽度与花键的宽度 b 相等，并使铣刀的侧切削刃与切痕边缘相切（见图7-170）。必须指出，在对刀以后应将工件转过半个齿距，以便在铣削时把切痕铣去。

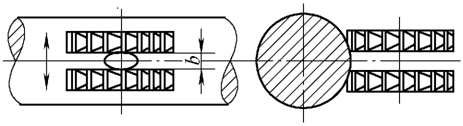


图7-170 切痕法

c. 划线法。用划线法对刀，先要在工件上划线，方法是：用高度尺先在工件外圆柱面的两侧各划一条中心线，然后通过分度头将工件转过180°，再用高度尺划一次，如两次所划的中心线重合即可；如不重合，则应调整高度尺的高度重划，直至划出正确的中心线为止。然后分别升高和降低半个花键键宽划出两条键侧线。中心线、键侧线划好后，再通过分度头将工件转过90°，使划有键侧线的外圆部分朝上，并且高度尺在工件的端面上划出花键的铣切深度线。铣削时，只要使铣刀的侧切削刃对准键侧线，圆周切削刃对准深度线，就可铣出正确的花键。

d. 试切法。先将一根直径与工件相同的试件装夹在分度头的自定心卡盘与尾座顶尖间，用上述的任意一种方法初步对刀，并在试件上铣出适当长度的花键键侧1，分度180°后，再铣出键侧2（见图7-171a）；接着移动横向工作台，铣出另一键侧3（见图7-171b）；然后使工件转过90°，用杠杆指示表测量键侧1和3的高度（见图7-171c），如果两者高度一致，表明花键的对称性良好；如果两者高度不一致，则应根据键侧1、3高度差的一半，重新调整工作台的位置，并使工件转过一个齿距，继续试切、测量，直到花键对称性达到图样要求为止。必须指出，在校正花键对称性时，还应测量控制键侧2、3之间的宽度 b 是否合格。当对称性和键宽 b 都符合要求后，表明对刀正确，可以安装工件进行铣削加工。用试切法对刀，可获得较高的对刀精度。

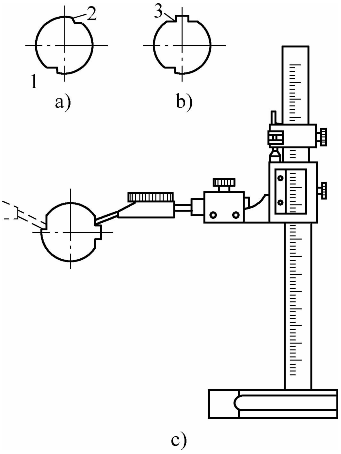


图 7-171　试切法对刀的步骤

a）铣键侧 1 和 2　b）铣键侧 3

c）比较测量键侧 1 和 3 的高度

1、2、3—键侧

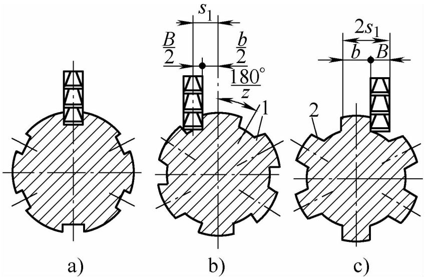


图 7-172　花键加工步骤

a）铣中间槽　b）铣键侧 1　c）铣键侧 2

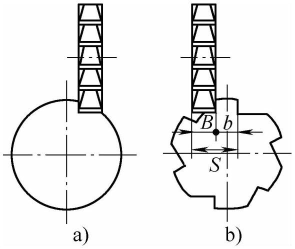


图 7-173　先铣键侧的铣削法

a）铣花键一侧　b）铣花键另一侧

③　花键铣削步骤。在调整好铣削深度 $H\left(=\dfrac{D-d'}{2}\right)$后，即可进行键槽的铣削。

a. 铣中间槽（见图 7-172a）。在铣完第一条槽后，利用分度机构依次将六条键槽全部铣出。

b. 铣键侧 1（见图 7-172b）。在铣完中间槽后，将工件转过 180°/z，使键的位置朝上，同时使工作台横向移动 s_1 距离，$s_1=(B+b)/2$，铣削键侧 1。

c. 铣键侧 2（见图 7-172c）。铣削前将工作台反向移动一个距离 s，$s=2s_1=B+b$，然后进行铣削。

在开始铣削键侧 1 和键侧 2 时，为了保证键的对称度和齿宽的尺寸精度，先只试铣一小段，经检验合格后，将六个齿侧 1 一次铣出，然后再铣出六个齿侧 2。应当指出，如铣削前采用图 7-171 所示的试切法对刀，则试铣调整操作可以免去。

2）先铣键侧，后铣槽底。工件的装夹与校正与前面所述方法相同（见图 7-166）。铣削前，如采用划线法对刀，铣削时应使铣刀的侧切削刃对准键侧线，铣削键的一侧（见图 7-173a）；然后横向移动工作台一个距离 s（$=B+b$），再铣另一侧（见图 7-173b）。

为了保证键侧的对称度和键宽的尺寸精度，可在两侧面留 0.3mm 左右的余量，在粗铣后进行检验，并根据检验结果进行必要的调整，再进行铣削。为了在铣削槽底圆弧时不损伤键侧根部，铣键侧时，工作台的实际升高量应增加 0.5mm，即 $H'=H+0.5=\dfrac{D-d}{2}+0.5$（mm）。

3）槽底圆弧的铣削方法。

①　用锯片铣刀铣削槽底圆弧面（见图 7-174）。通常选用宽度为 1～2mm 的小直径锯齿铣刀，以便尽可能铣出靠近键侧处的圆弧。铣削步骤如下：

a. 目测使锯片铣刀对准工件中心（见图 7-174a），再调整铣削深度。在键的外圆处贴一层薄纸，开动机床，使铣刀微微擦到工件上的薄纸，退出工件，垂直上升一个距离 H 后，可以开始铣削。

b. 铣圆弧面时，先将工件转过一定的角度，从靠近键槽的一侧外进行铣削（见图 7-174b），调整好纵向自动进给停止挡铁，每铣完一刀后，摇动分度手柄，使工件转过一个微小的角度，继续进行铣削。显然，每次工件转动的角度越小，就越能接近圆弧面（见图 7-174c）。在铣至另一侧面后，再依次将工件上

的全部圆弧面槽底铣完。在铣削过程中，必须特别注意不能碰伤键的两侧。

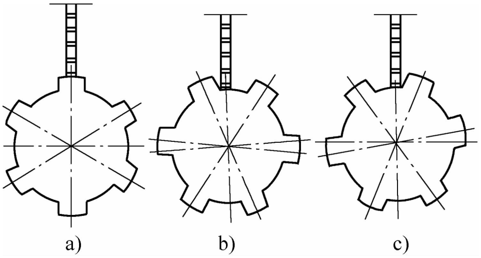


图 7-174 外花键小径圆弧面加工方法
a）锯片铣刀对准工件中心 b）开始铣槽底圆弧面 c）槽底圆弧面铣完

② 用成形单铣刀头铣削小径圆弧面。成形单铣刀头常用的三种安装方法见图 7-175。当键侧全部铣完后，调换安装上成形单铣刀头，目测使外花键键宽中心与成形单铣刀头的中心对准（见图 7-176a），即使工件外圆与铣刀两尖角同时接触，然后再将工件转过 θ 角，工作台垂向微量上升，切到槽底，粗铣出小径圆弧面后，工件退出，再将工件转过 180°，粗铣另一个小径圆弧面，最后用千分尺测量小径尺寸。根据测得的小径尺寸，工件垂向上升小径尺寸余量的一半，依次铣完小径圆弧面（见图 7-176b）。

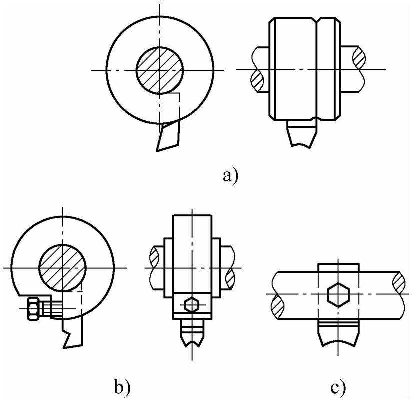


图 7-175 成形单铣刀头常用的三种安装方法
a）用夹紧刀盘安装 b）用紧固刀盘安装 c）用方孔刀杆安装

2. 用成形铣刀铣削矩形外花键

用成形铣刀铣削，由于铣刀廓形与花键轴齿槽的形状一致，因此，可以在一次进给中将键侧及槽底同时铣出（见图 7-177）。这种方法具有生产率高、加工质量好、操作简单等优点，适用于批量生产。

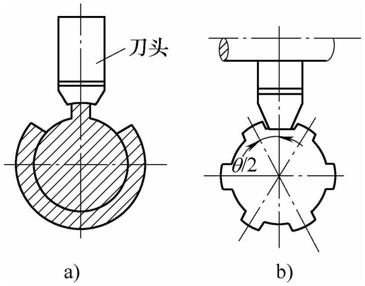


图 7-176 成形单铣刀头对刀铣削小径
a）成形单铣刀头对中心 b）铣削小径圆弧面

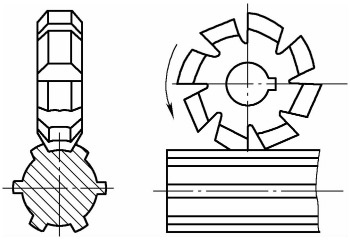


图 7-177 用成形铣刀铣削花键轴

用成形铣刀铣削花键时，工件的装夹和调整的方法与前面介绍的相同，其铣削步骤如下：先进行对刀，即用目测使成形铣刀的两尖角同时接触工件的外圆表面（见图 7-178a），可略铣出一些微痕，检查两边吃刀是否均衡，调整均衡后，再按槽深的 3/4 铣一刀（见图 7-178b），退出工件，检查键的对称度。检查时，先使工件按顺时针方向转过 θ 角度（见图 7-178c），$\theta = 90° - \frac{180°}{z}$（$z$ 为花键齿数）；再用指示表测量键侧面 1 的高度；然后将工件逆时针转过 2θ 角度（见图 7-178d），用指示表测量键侧面 2。如果键侧面 1 和 2 的高度不等，说明对刀不准。若测得键侧面 1 比键侧面 2 高出 Δx，则应使键侧面 1 向铣刀方向移动，横向工作台移动的距离 s 可用下式计算：

$$s = \frac{\Delta x}{2\cos\frac{180°}{z}}$$

式中 s——工作台横向移动的距离（mm）；

Δx——花键两侧面实测对称度的差值（mm）；

z——花键齿数。

上式可改写为

$$s = \Delta x K \text{ (mm)}$$

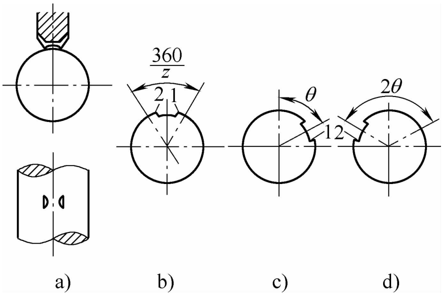


图 7-178 成形花键铣刀对刀步骤

a）铣出刀痕 b）试铣

c）测量1面 d）测量2面

1、2—键侧面

不同花键齿数的 K 值见表 7-27。

表 7-27 不同花键齿数的 K 值

花键齿数	3	4	6	8	10	16
系数 K	1	0.707	0.577	0.540	0.526	0.501

在调整横向工作台移动 s（mm），使花键两侧面铣至等高后，就可紧固横向工作台，并按键槽深度调整好铣削深度，依次完成全部键槽的加工。

生产中使用的成形铣刀多数为铲齿成形铣刀，它能保证沿刀齿前面重磨后的刀齿形状不变（见图 7-179a）；而采用镶齿成形铣刀或尖齿成形铣刀（见图 7-179b）可大大提高生产率。

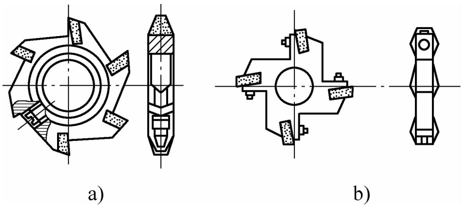


图 7-179 硬质合金外花键成形铣刀

a）铲齿成形铣刀 b）尖齿成形铣刀

3. 用组合铣刀铣削矩形外花键

由于成形铣刀制造困难，因此在批量生产中也常采用组合铣刀铣削花键轴。

（1）用两把三面刃铣刀组合铣削

1）图 7-180 所示为用两把三面刃铣刀（侧刃）组合铣削花键轴的两个键侧面。用这种方法加工时，两把铣刀的直径必须相等；两把铣刀内侧刃之间的距离应等于花键的键宽，这可由铣刀之间的垫圈（或垫片）的厚度保证。对刀方法与前面的加工方法相同，试切一定深度后，同样应检验两键侧的对称度。在调整铣削深度时，要按图样要求再加深约 0.5mm，然后才能进行铣削。

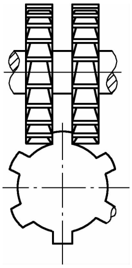


图 7-180 用两把三面刃铣刀（侧刃）组合铣削花键轴的两个键侧面

采用组合铣削法时，键侧和槽底的铣削，可将工件两次安装，分别铣削，可使调整简便。即在键侧铣削完毕后，换装成形刀头，铣削花键小径的圆弧面。

2）图 7-181 所示为用两把三面刃铣刀（外圆齿刃）一次铣出两个相对齿的上齿侧面。两把铣刀间距离 L 的计算为 $L = \sqrt{d^2 - b^2} - 1$。铣削时，为保证键宽的对称度，采用两边切削刃同时接触工件外圆的方法调整铣刀位置。先铣键槽的一侧，将工件转过 180°再铣削另一侧，然后测量键宽。第二次铣削深度 H' 为 $H' = (b_1 - b)/2$，其中，b_1 为实测键宽。调整后，依次铣出全部键齿。这种方法所用铣刀的直径较大，但刀具直径过大，容易导致铣刀齿侧摆动量增大，使铣削精度下降。

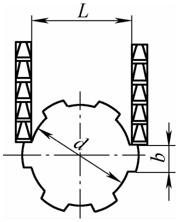


图 7-181 用两把三面刃铣刀（外圆齿刃）铣削花键轴两个相对齿的上齿侧面

（2）用专用组合铣刀铣削　图7-182所示为用专用组合铣刀铣花键轴。采用这种组合铣刀，可以同时铣削键的两侧及倒角。在铣削六齿花键轴时，应按1、3、5、2、4、6的顺序铣削。

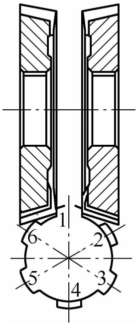


图7-182　用专用组合铣刀铣花键轴

（3）用硬质合金组合铣削刀盘精铣花键　用高速钢三面刃铣刀铣削花键，生产率较低，且键侧表面粗糙度值 Ra 一般只能达到6.3～3.2μm。在加工批量较大的花键轴时，可先用高速钢成形铣刀将花键轴小径的圆弧面铣好，而键侧留有0.15～0.20mm精铣余量，再用图7-183所示的硬质合金组合铣削刀盘精铣花键。刀盘上共有两组刀，其中一组刀（共两把）为铣花键两侧用，而另一组的两把刀为加工花键两侧倒角用。每组刀的左右刀齿间距离均可按键宽或倒角尺寸的大小任意调整。用这种方法精铣花键，键侧的表面粗糙度值可达 Ra1.6～0.8μm，而铣削速度可达120m/min以上，进给速度可达375m/min，生产率也得到了较大的提高。

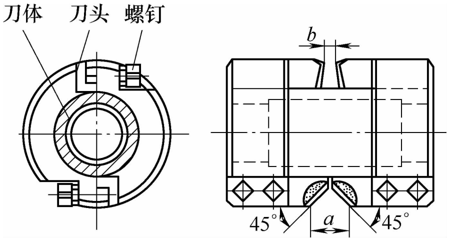


图7-183　用硬质合金组合铣削刀盘精铣花键

4. 外花键的检验

在单件、小批量生产中，外花键的内径和键宽可用游标卡尺、千分尺等通用量具检验；而键侧与轴线的平行度和键侧两平面与轴线的对称度可用高度尺或指示表进行检验。

在成批、大量生产中，则可用图7-184所示的外花键综合量规进行检验。若综合量规能均匀通过，则被检零件为合格件。

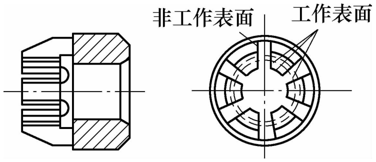


图7-184　外花键综合量规

5. 外花键铣削时常见的质量问题及防止方法

外花键铣削时常见的质量问题及防止方法见表7-28。由表7-28可见，由于外花键加工中的调整操作项目较多，无论是采用三面刃铣刀或成形铣刀，都有对刀、分度、调整铣削深度、测量、计算等，只要一个环节操作不当，就会产生质量问题，如花键对称度超差、键侧表面粗糙度值大等。

表7-28　外花键铣削时常见的质量问题及防止方法

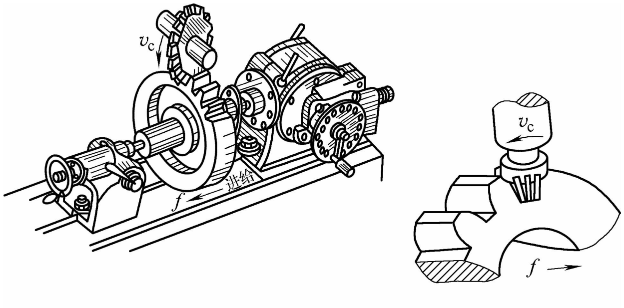
铣刀类型	质量问题	产生原因	现　　象	防止方法
成形铣刀	键侧产生波纹	刀轴与挂架轴承配合间隙过松，并缺少润滑油	铣削时挂架轴承部分发出不正常的声音	调整间隙，加注润滑油或改装滚动轴承挂架
成形铣刀或三面刃铣刀	花键轴中段产生波纹	花键轴太细长，刚性差	铣至中段时工件发生振动	花键轴中段用千斤顶支承
成形铣刀	键侧及槽底有深啃现象	铣削时中途停刀		中途不能停止自动进给

（续）

铣刀类型	质量问题	产生原因	现　　象	防止方法
成形铣刀或三面刃铣刀	花键的两端底径不一致	工件的上母线与工件台台面不平行		重新校正工件与母线相对于工作台台面的平行度
成形铣刀或三面刃铣刀	花键对称度超差	对刀不准		重新对刀
三面刃铣刀或成形铣刀	花键键侧两端不平行	工件侧母线与纵向工作台进给方向不平行		重新校正工件侧母线相对于纵向工作台进给方向的平行度
成形铣刀	键宽超差及两端不一致	分度头尾架顶尖松紧不一致，及分度头摇动时有间隙		保持尾架顶针松紧一致，及摇分度手柄时注意间隙
三面刃铣刀	键宽超差	单刀铣削时，横向未摇准及垫圈不平铣刀侧面摆差 组合铣削时两把铣刀间的距离计算、调整有误或对刀不准，以及铣刀侧刃摆差垫圈不平		摇时横向要计算，摇准、调换平行垫圈 正确计算、调整铣刀间的距离尺寸 正确对刀调换平行垫圈刃磨或更换铣刀
成形铣刀或三面刃铣刀	花键等距超差	花键轴同心度未校正，分度头位置摇错		花键轴同心度重新校正，及摇分度头时要细心
成形铣刀或三面刃铣刀	键侧表面粗糙度值大	刀轴弯曲或刀轴垫圈不平行引起铣刀轴向摆动	切削不平稳	校直刀轴，修整垫圈的平行度

7.3.7　直齿圆柱齿轮齿形的铣削

齿轮齿形的加工方法主要有成形法和展成法两大类。在铣床上用成形法加工齿形，只适于在单件和小批量生产的条件下，加工精度较低（一般能达到9级精度）的齿轮。图7-185所示为用成形铣刀铣削齿轮。其中，图7-185a所示为用盘形齿轮铣刀铣削齿轮，一般加工中、小模数的齿轮（模数 $m<8$）；图7-185b所示为用指形齿轮铣刀铣削齿轮，通常用于加大模数的齿轮（$m>8$）。加工时，利用分度头进行分度。



a)　　b)

图7-185　用成形铣刀铣削齿轮

a）用盘形齿轮铣刀铣削齿轮　b）用指形齿轮铣刀铣削齿轮

（1）铣刀及其选择　盘形齿轮铣刀（见图7-186）就是具有渐开线廓形的铲齿成形铣刀，其廓形应与被加工齿轮齿槽的形状相同。根据渐开线的性质，要铣出正确的齿形，每一个模数、每一种齿数都需选用相应的铣刀，但这样势必造成铣刀的规格十分繁多，既不经济、难以管理，也无必要。实际生产中，常按被加工齿轮的齿数分组，每把铣刀可加工与之对应的齿数的齿轮。当模数 $m=1\sim8$mm 时，被加工齿轮的齿数分为8组，因此，对于每一种模数的齿轮只需配备8把铣刀；而模数 $m=9\sim16$mm 时，齿轮的齿数分为15组，每种模数的齿轮需配备15把铣刀，这样就大大减少了铣刀的规格。使用时，在确定被加工齿的模数 m 的前提下，再根据齿轮的齿数，按表7-29选择合适的铣刀刀号。这样，用同一把铣刀加工同一模数、齿数相近的齿轮，其产生的齿形误差，对于在铣床上能加工出的齿轮精度来说是允许的。

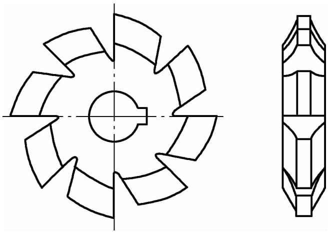


图7-186　盘形齿轮铣刀

表7-29　标准盘形齿轮铣刀号数

铣刀刀号		1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$
加工齿数范围	8把一套	12～13	—	14～16	—	17～20	—	21～25	—
	15把一套	12	13	14	15～16	17～18	19～20	21～22	23～25

铣刀刀号		5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8
加工齿数范围	8把一套	26～34	—	35～54	—	55～134	—	>135
	15把一套	26～29	30～34	35～41	42～54	55～79	80～134	>135

（2）检查齿坯（见图7-187）

1）检查齿坯外圆（即齿顶圆）的直径尺寸 d_a，可用游标卡尺测量，以便于根据齿顶圆的实际尺寸确定铣削深度，使齿轮分度圆齿厚符合要求。

2）用指示表检查齿坯的外圆和端面跳动量是否符合图样规定。

（3）安装校正分度头及尾架

（4）齿坯的装夹和校正　通常，将齿坯装在心轴上，再将心轴装在分度头及尾座的两顶尖间（见图7-185）。齿轮宽度较小时，可以在心轴上同时装夹几个齿坯。当铣削轴上齿轮时，工件的一端可直接夹在分度头上的自定心卡盘内，另一端用尾顶尖支承（见表7-14中的2）。

工件装夹经校正后，必须保证下述的精度要求：

1）齿坯轴线与铣床工作台台面的平行度。

2）齿坯轴线与铣床纵向工作台纵向进给方向的平行度。

3）齿坯齿顶圆与分度头主轴轴线的同轴度。

4）齿坯的径向和端面跳动量。

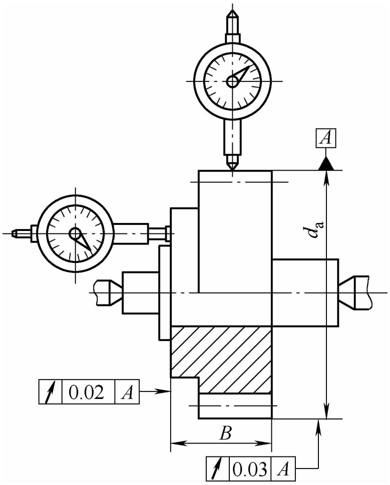


图7-187　齿坯外圆和端面跳动量的检查

（5）分度头分度手柄转数的计算和调整　根据齿轮的齿数，选择分度方法，计算和调整分度头手柄的转数，如采用差动分度法，还需计算和选择、安装好交换齿轮，以保证分齿的正确和齿距均匀。

（6）铣刀的安装和对刀　铣刀安装在铣刀刀轴上，应尽量靠近主轴，以增加铣刀的刚性。铣刀的正确对刀是保证齿形对称的关键，其要求是使铣刀廓形的对称平面通过齿坯的轴线。常用的对刀方法有以下几种：

1）划线试切对刀（见图7-188）。先在齿坯上划出中心线，移动工作台使齿坯的划线与铣刀廓形中心平面基本重合，然后在齿坯划线处铣出一小椭圆形浅印，依其判断铣刀廓形的中心平面是否与工件的轴线重合。

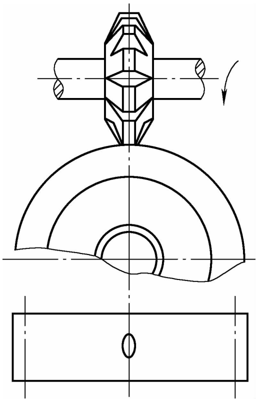


图7-188　划线试切对刀

2）切痕对刀法。这种方法和在轴上铣键槽的对刀方法相同，参见图7-109及其说明。

3）划线对刀法。将划针盘调整到略低于齿坯中心的高度，在齿坯外圆的一侧划 *AB* 线（见图7-189a）。摇动分度头分度手柄，使齿坯转过180°，则刚刚划出的线也就转到了另一侧。此时，移动划针盘并保持其原有的高度，在第一次划线的一侧齿坯的外圆上再划 *CD* 线（见图7-189b）。摇动分度头使齿坯转动90°，并让 *AB*、*CD* 线位于齿坯上方，对刀时，使铣刀对正两条线中间即可（见图7-189c）。

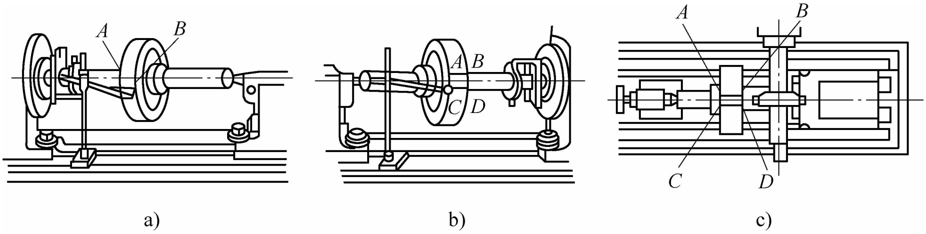


图7-189　划线对刀法

a）划 *AB* 线　b）划 *CD* 线　c）按 *AB*、*CD* 线对刀

4）圆柱测量对刀。在初步对刀后，在齿坯上铣一浅槽（见图7-190），然后将一根长度大于齿坯厚度、直径约等于齿轮模数 m 的圆柱放入槽中，摇动分度头的分度手柄，使分度头带动工件旋转90°，浅槽处于水平位置。然后用指示表测量圆柱两端，记下读数；再将分度头主轴旋转180°，使浅槽位于另一侧，用指示表再次测量。如表上读数和原读数相同，则表明铣刀廓形中心平面与齿坯轴线重合；如读数不同，其差值的一半就是轴线的偏移量，根据偏移量来横向移动工作台，即可使中心对准。

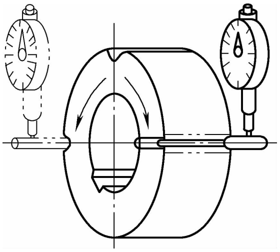


图7-190　圆柱测量对刀

（7）选择铣削用量　齿轮铣削时的切削量较大，进给量一般取较小值，精铣时的进给量比粗铣时更小些。铣削直齿圆柱齿轮时的铣削速度见表7-30。钢件粗铣齿轮时，可选用乳化液或轻柴油等作切削液；精铣时，用锭子油、柴油混合而成的切削液。铣削铸铁和铜件时，通常可不使用切削液。

表 7-30 铣削直齿圆柱齿轮时的铣削速度

齿轮材料	45 钢	40Cr	20Cr	铸铁、硬青铜	中等硬青铜、黄铜
铣削速度/(m/min)	粗铣				
	32	30	22	25	40
	精铣				
	40	37.5	27	31	50

（8）铣削齿轮　对于模数较小或对齿面表面粗糙度要求不高的齿轮，可以在一次进给中铣出全齿深（$h=2.25m$）；但是，为保证齿厚的精度要求和齿面的表面粗糙度，往往分粗铣和精铣来进行齿轮加工。粗铣时，切去大部分余量；精铣时，应根据粗铣后的测量结果，通过计算确定第二次的进刀量，其计算方法见以下“直齿圆柱齿轮的测量”。

（9）直齿圆柱齿轮的测量

1）齿厚的测量。齿厚的测量分为分度圆弦齿厚的测量法和固定弦齿厚测量法，均用齿厚游标卡尺测量。

① 分度圆弦齿厚的测量（见图 7-191）。先按分度圆弦齿高 $\bar{h}_a$ 调整垂直游标尺，然后使垂直游标卡尺的工作面与齿顶圆接触；再调整水平游标卡尺，使水平游标卡尺的两卡脚分别与轮齿的两侧齿面接触。此时，水平游标卡尺的读数就是分度圆弦齿厚 $\bar{s}$。

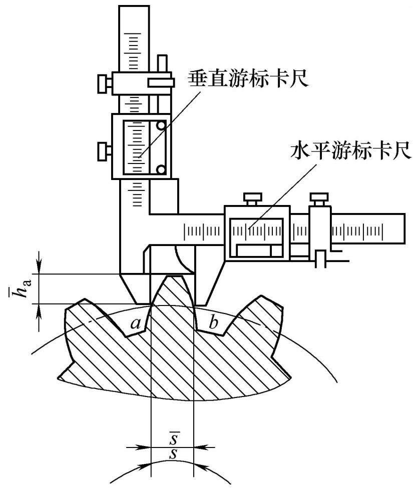


图 7-191　分度圆弦齿厚的测量

$\bar{h}_a$ 和 $\bar{s}$ 的计算公式如下：

$$\bar{h}_a = m\left[1+\frac{z}{2}\left(1-\cos\frac{90°}{z}\right)\right]$$

$$\bar{s} = mz\sin\frac{90°}{z}$$

式中　m——齿轮的模数（mm）；

z——齿轮的齿数（mm）。

为了较准确地测出分度圆弦齿厚，可对计算出的 $\bar{h}_a$ 减去由齿顶圆制造误差而产生的修正值 $\Delta\bar{h}_a$

$$\Delta\bar{h}_a = \frac{d_a - d'_a}{2}$$

式中　d_a——齿顶圆直径的名义尺寸（mm）；

d'_a——齿顶圆直径的实际尺寸（mm）。

为简化计算，在实际生产中常用查表法来求出分度圆弦齿厚 $\bar{s}$ 和弦齿高 $\bar{h}_a$。表 7-31 所示为模数 $m=1$mm 的分度圆弦齿厚 $\bar{s}^*$ 和弦齿高 $\bar{h}_a^*$。使用时，先根据被测齿轮的齿数 z，从表中查得 $\bar{s}^*$ 和 $\bar{h}_a^*$，再乘以被测齿轮的模数 m，就可得到被测齿轮的弦齿厚 $\bar{s}$ 和弦齿高 $\bar{h}_a$，即

$$\bar{s} = m\bar{s}^*$$

$$\bar{h}_a = m\bar{h}_a^*$$

式中　m——被测齿轮的模数（mm）；

$\bar{s}$——被测齿轮的弦齿厚（mm）；

$\bar{h}_a$——被测齿轮的弦齿高（mm）。

② 固定弦齿厚的测量（见图 7-192）。固定弦齿厚 $\bar{s}_c$ 是指标准齿条的齿形和齿轮齿形相切时，两切点 A、B 之间的距离；而 A、B 连线到齿顶圆的距离为固定弦齿高 $\bar{h}_c$，计算公式为

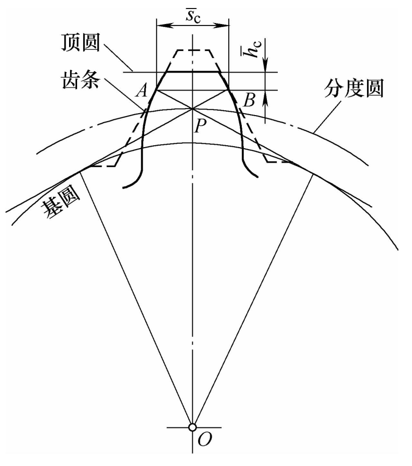


图 7-192　固定弦齿厚的测量

表 7-31 分度圆的弦齿厚 $\bar{s}_a^*$ 和弦齿高 $\bar{h}_a^*$ （$m=1$mm） （单位：mm）

齿数 z	齿厚 $\bar{s}$	齿高 $\bar{h}_a^*$	齿数 z	齿厚 $\bar{s}$	齿高 $\bar{h}_a^*$
12	1.5663	1.0513	57	1.5706	1.0108
13	1.5669	1.0474	58	1.5706	1.0106
14	1.5675	1.0440	59	1.5706	1.0104
15	1.5679	1.0411	60	1.5706	1.0103
16	1.5683	1.0385	61	1.5706	1.0101
17	1.5686	1.0363	62	1.5706	1.0100
18	1.5688	1.0342	63	1.5706	1.0098
19	1.5690	1.0324	64	1.5706	1.0096
20	1.5692	1.0308	65	1.5706	1.0095
21	1.5693	1.0294	66	1.5706	1.0093
22	1.5694	1.0280	67	1.5706	1.0092
23	1.5695	1.0268	68	1.5706	1.0091
24	1.5696	1.0257	69	1.5706	1.0089
25	1.5697	1.0247	70	1.5706	1.0088
26	1.5698	1.0237	71	1.5707	1.0087
27	1.5699	1.0228	72	1.5707	1.0086
28	1.5699	1.0220	73	1.5707	1.0084
29	1.5700	1.0212	74	1.5707	1.0083
30	1.5701	1.0205	75	1.5707	1.0082
31	1.5701	1.0199	76	1.5707	1.0080
32	1.5702	1.0193	77	1.5707	1.0080
33	1.5702	1.0187	78	1.5707	1.0079
34	1.5702	1.0181	79	1.5707	1.0078
35	1.5703	1.0176	80	1.5707	1.0077
36	1.5703	1.0171	81	1.5707	1.0076
37	1.5703	1.0167	82	1.5707	1.0075
38	1.5703	1.0162	83	1.5707	1.0074
39	1.5704	1.0158	84	1.5707	1.0073
40	1.5704	1.0154	85	1.5707	1.0073
41	1.5704	1.0150	86	1.5707	1.0072
42	1.5704	1.0146	87	1.5707	1.0071
43	1.5705	1.0144	88	1.5707	1.0070
44	1.5705	1.0140	89	1.5707	1.0069
45	1.5705	1.0137	90	1.5707	1.0069
46	1.5705	1.0134	91	1.5707	1.0068
47	1.5705	1.0131	92	1.5707	1.0067
48	1.5705	1.0128	93	1.5707	1.0066
49	1.5705	1.0126	94	1.5707	1.0065
50	1.5705	1.0124	95	1.5707	1.0065
51	1.5705	1.0121	96	1.5707	1.0064
52	1.5706	1.0119	97	1.5707	1.0064
53	1.5706	1.0116	98	1.5707	1.0063
54	1.5706	1.0114	99	1.5707	1.0062
55	1.5706	1.0112	100	1.5707	1.0062
56	1.5706	1.0110	105	1.5708	1.0059

（续）

齿数 z	齿厚 $\bar{s}$	齿高 $\bar{h}_a^*$	齿数 z	齿厚 $\bar{s}$	齿高 $\bar{h}_a^*$
110	1.5708	1.0056	135	1.5708	1.0046
115	1.5708	1.0054	140	1.5708	1.0044
120	1.5708	1.0051	145	1.5708	1.0042
125	1.5708	1.0049	150	1.5708	1.0041
127	1.5708	1.0048	齿条	1.5708	1.0000
130	1.5708	1.0047			

注：1. 对于斜齿圆柱齿轮和锥齿轮，本表也可使用，但要用当量齿数查表。

2. 如果当量齿数带小数，就要采用比例插入法，把小数部分考虑进去。

3. 如果考虑到齿顶圆制造误差，要根据查表计算所得 h_a 减去修正值 Δh。

$$\bar{s}_c=\frac{\pi m}{2}\cos^2\alpha$$

$$\bar{h}_c=m\left(1-\frac{\pi}{8}\sin2\alpha\right)$$

式中 $\bar{s}_c$——固定弦齿厚（mm）；

$\bar{h}_c$——固定弦齿高（mm）；

m——齿轮的模数（mm）；

α——标准齿形角（°）。

当 $\alpha=20°$ 时，$\bar{s}_c=1.3871m$，$\bar{h}_c=0.7476m$。

由上式可以看出 $\bar{s}_c$、$\bar{h}_c$ 只与被测齿轮的模数 m 有关，而与齿数 z 无关。

固定弦齿厚的测量方法与分度圆弦齿厚的测量方法相同，只是测量的部位不同。由于测量 $\bar{s}_c$ 时也是以齿轮的齿顶圆为基准，和测量分度圆弦齿厚一样，通过相同的计算公式，计算出由齿顶圆制造误差而产生的修正值 $\Delta\bar{h}_c$，并从由公式计算（或查表）得到的数值中减去。

为简化计算，在实际生产中，当 $\alpha=20°$ 时，根据齿轮模数 m 的值，从表 7-32 中可直接查出固定弦齿厚 $\bar{s}_c$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_c$ 的值。

表 7-32 固定弦齿厚 $\bar{s}_c$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_c$（$\alpha=20°$）

模数 m	固定弦齿厚 $\bar{s}_c$	固定弦齿高 $\bar{h}_c$	模数 m	固定弦齿厚 $\bar{s}_c$	固定弦齿高 $\bar{h}_c$
1	1.3871	0.7476	6	8.3223	4.4854
1.25	1.7338	0.9344	6.5	9.0158	4.8592
1.5	2.0806	1.1214	7	9.7093	5.2330
1.75	2.4273	1.3082	7.5	10.4029	5.6068
2	2.7741	1.4951	8	11.0964	5.6068
2.25	3.1209	1.6820	9	12.4834	6.7282
2.5	3.4677	1.8680	10	13.8705	7.4757
2.75	3.8144	2.0558	11	15.2575	8.2233
3	4.1612	2.2427	12	16.6446	8.9709
3.25	4.5079	2.4296	13	18.0316	9.7185
3.5	4.8547	2.6165	14	19.4187	10.4661
3.75	5.2017	2.8034	15	20.8057	11.2137
4	5.5482	2.9903	16	22.1928	11.9612
4.25	5.8950	3.1772	18	24.9669	13.4564
4.5	6.2417	3.3641	20	27.7410	14.9515
4.75	6.5885	3.5510	22	30.5151	16.4467
5	6.9353	3.7379	24	33.2892	17.9419
5.5	7.6288	4.1117	25	34.6762	18.6895

注：对于标准斜齿圆柱齿轮，按法向模数查表。

2）公法线长度的测量。齿轮上相隔若干个齿的两外侧与平行平面相切时，两平行平面之间的垂直距离称为该齿轮公法线的长度，用 W_k 表示；公法线长度内所跨越的齿数 k，称为跨齿数。跨齿数 k 与齿轮的齿数和齿形角 α 有关，标准直齿轮的 $\alpha=20°$，则跨齿数 k 可由下式计算，并四舍五入取整数

$$k=0.111z+0.5$$

式中 z——齿轮的齿数。

跨齿数计算出后，可用公法线千分尺（或游标卡尺）测量公法线的长度，见图7-193。

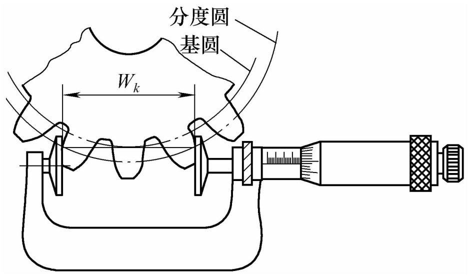


图7-193 用公法线千分尺测量公法线的长度

齿轮的公法线长度 W_k 可由下式计算

$$W_k=m[2.9521(k-0.5)+0.014z]$$

式中 m——齿轮的模数（mm）；

z——齿轮的齿数；

k——跨齿数。

为简化计算，在实际生产中，可从表7-33中查得标准直齿圆柱齿轮的公法线长度（$m=1\text{mm}$，$\alpha=20°$）。将查出的 W 值乘以被测齿轮的模数 m 值，便是被测齿轮的公法线长度。

表7-33 标准直齿圆柱齿轮的公法线长度（$m=1\text{mm}$，$\alpha=20°$）

被测齿轮总齿数 z	跨齿数 k	公法线长度值 W/mm	被测齿轮总齿数 z	跨齿数 k	公法线长度值 W/mm
10		4.5683	37		13.8028
11		4.5823	38		13.8168
12		4.5963	39		13.8308
13		4.6103	40		13.8448
14	2	4.6243	41	5	13.8588
15		4.6383	42		13.8728
16		4.6523	43		13.8868
17		4.6663	44		13.9008
18		4.6803	45		13.9148
19		7.6464	46		16.8810
20		7.6604	47		16.8950
21		7.6744	48		16.9090
22		7.6884	49		16.9230
23	3	7.7025	50	6	16.9370
24		7.7165	51		16.9510
25		7.7305	52		16.9650
26		7.7445	53		16.9790
27		7.7585	54		16.9930
28		10.7246	55		19.9591
29		10.7386	56		19.9732
30		10.7526	57		19.9872
31		10.7666	58		20.0012
32	4	10.7806	59	7	20.0152
33		10.7946	60		20.0292
34		10.8086	61		20.0432
35		10.8226	62		20.0572
36		10.8367	63		20.0712

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨齿数 k	公法线长度值 W/mm	被测齿轮总齿数 z	跨齿数 k	公法线长度值 W/mm
64	8	23.0373	108	13	38.4142
65		23.0513	109		38.4282
66		23.0653	110		38.4422
67		23.0793	111		38.4563
68		23.0933	112		38.4703
69		23.1074	113		38.4843
70		23.1214	114		38.4983
71		23.1354	115		38.5123
72		23.1494	116		38.5263
			117		38.5403
73	9	26.1155	118	14	41.5064
74		26.1295	119		41.5205
75		26.1435	120		41.5344
76		26.1575	121		41.5484
77		26.1715	122		41.5625
78		26.1855	123		41.5765
79		26.1995	124		41.5905
80		26.2135	125		41.6045
81		26.2275	126		41.6185
82	10	29.1937	127	15	44.5846
83		29.2077	128		44.5986
84		29.2217	129		44.6126
85		29.2357	130		44.6266
86		29.2497	131		44.6406
87		29.2637	132		44.6546
88		29.2777	133		44.6686
89		29.2917	134		44.6826
90		29.3057	135		44.6966
91	11	32.2719	136	16	47.6628
92		32.2859	137		47.6768
93		32.2999	138		47.6908
94		32.3139	139		47.7048
95		32.3279	140		47.7188
96		32.3419	141		47.7328
97		32.3559	142		47.7468
98		32.3699	143		47.7608
99		32.3839	144		47.7748
100	12	35.3500	145	17	50.7410
101		35.3641	146		50.7550
102		35.3781	147		50.7690
103		35.3921	148		50.7830
104		35.4061	149		50.7970
105		35.4201	150		50.8110
106		35.4341	151		50.8250
107		35.4481	152		50.8390
			153		50.8530

（续）

被测齿轮总齿数 z	跨齿数 k	公法线长度值 W/mm
154	18	53.8192
155		53.8332
156		53.8472
157		53.8612
158		53.8752
159		53.8892
160		53.9032
161		53.9172
162		53.9312
163	19	56.8973
164		56.9113
165		56.9254
166		56.9394
167		56.9534
168		56.9674
169		56.9814
170		56.9954
171		57.0094
172	20	59.9755
173		59.9895
174		60.0035
175		60.0175
176		60.0315
177		60.0456
178	20	60.0596
179		60.0736
180		60.0876
181	21	63.0537
182		63.0677
183		63.0817
184		63.0957
185		63.1097
186		63.1237
187		63.1377
188		63.1517
189		63.1657
190	22	66.1319
191		66.1459
192		66.1599
193		66.1739
194		66.1879
195		66.2019
196		66.2159
197		66.2299
198		66.2439
199	23	69.2101
200		69.2241

比较以上两种测量方法可见，在测量分度圆弦齿厚和固定弦齿厚时，都以齿轮的齿顶圆为基准，而齿顶圆的误差较大，每次测量需根据齿顶圆的实测数值对分度圆弦齿高或固定弦齿高进行修正，以期获得较精确的测量结果；而测量公法线长度时，则不以齿轮的齿顶圆为基准，并且可用普通的游标卡尺测量，十分方便。

3）精铣进给量的计算。精铣进给量数值的确定应在齿厚或公法线长度测量之后计算确定。

①　弦齿厚测量的进给量 $\Delta\bar{s}$（齿形角 $\alpha=20°$）计算公式：

$$\Delta\bar{s}=1.37\ (\bar{s}_{测}-\bar{s})$$

②　公法线长度测量的进给量 ΔW（齿形角 $\alpha=20°$）计算公式：

$$\Delta W=1.462\ (W_{测}-W_k)$$

式中　$\bar{s}_{测}$、$W_{测}$——测量值；

$\bar{s}$、W_k——计算值或查表值。

4）齿圈径向跳动量的测量。齿圈径向跳动量是齿轮在转动一周范围内，指示表的测量触头在齿槽内（见图7-194）或轮齿上（见图

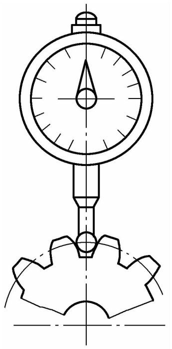


图7-194　齿圈径向跳动量的测量

（在齿槽内接触）

7-195）与齿高中部双面接触，测头相对于齿轮轴线的最大跳动量。齿圈径向跳动的公差 F_r 见表 7-34。

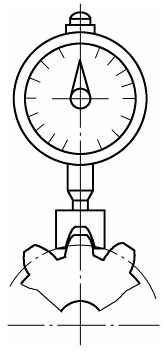


图 7-195　齿圈径向跳动量的测量
（在轮齿上接触）

7.3.8　螺旋槽的铣削

在铣床上加工圆柱螺旋槽，根据螺旋线的形成原理，是在工作台作纵向进给运动的同时，通过纵向工作台丝杠与分度头之间的交换齿轮，带动分度头上工件作旋转运动来实现的（见图 3-5）。此时，工件既作等速直线运动，又作等速旋转运动；而铣刀只作旋转主切削运动。

1. 交换齿轮的计算与调整

根据铣螺旋槽的运动要求，在分度头主轴（工件）转一转时，工作台（工件）应纵向移动一个导程 P_h，即工作台丝杠转 $P_h/P_{丝}$ 转。由图 7-196 所示的铣圆柱螺旋槽传动系统可得：

表 7-34　齿圈径向跳动允差 F_r

分度圆直径/mm		法向模数 m_n/mm	精度等级					
大于	到		7	8	9	10	11	12
—	125	≥1 ~ 3.5	36	45	71	100	125	160
		>3.5 ~ 6.3	40	50	80	125	160	200
		>6.3 ~ 10	45	56	90	140	180	224
125	400	≥1 ~ 3.5	50	63	80	112	140	180
		>3.5 ~ 6.3	56	71	100	140	180	224
		>6.3 ~ 10	63	86	112	160	200	250
		>10 ~ 16	71	90	125	180	224	280
		>16 ~ 25	80	100	160	224	280	355

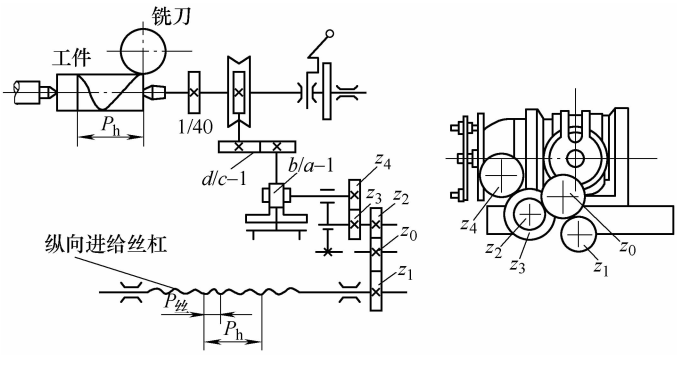


图 7-196　铣削圆柱螺旋槽的传动系统

$$\frac{P_h}{P_{丝}}\ \frac{z_1}{z_2}\ \frac{z_3}{z_4}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{1}\ \frac{1}{40}=1$$

则传动比　$$i=\frac{z_1 z_3}{z_2 \cdot z_4}=\frac{40P_{丝}}{P_h}$$

式中　40——分度头的定数；

$P_{丝}$——铣床工作台丝杠的螺距（mm）；

P_h——待加工工件螺旋线的导程（mm）；

z_1、z_3——主动交换齿轮的齿数；

z_2、z_4——从动交换齿轮的齿数。

在实际生产中，为简化计算，可根据交换齿轮的传动比 i，或被加工螺旋槽的导程 P_h，由表7-35直接查出交换齿轮的齿数。

2. 工作台旋向的调整

用盘形铣刀铣削螺旋槽时，为使螺旋面的方向与铣刀的旋转平面一致，必须将万能卧式铣床的纵向工作台在水平面内扳转一个角度 β，β 等于工件的螺旋角。工作台旋转的方向

表7-35 加工螺旋槽时交换齿轮的速比、导程、齿数

（$P_{丝}$=6mm，分度头定数为40）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮				交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮			
		z_1	z_2	z_3	z_4			z_1	z_2	z_3	z_4
14.40000	16.67	100	25	90	25	6.30000	38.10	90	25	70	40
12.80000	18.75	100	25	80	25	6.28571	38.18	100	25	55	35
12.00000	20.00	100	25	90	30	6.17143	38.89	90	25	60	35
11.52000	20.83	90	25	80	25	6.16000	38.96	70	25	55	25
11.20000	21.43	100	25	70	25	6.00000	40.00	100	25	90	60
10.66667	22.50	100	25	80	30	5.86667	40.91	80	25	55	30
10.28571	23.33	100	25	90	35	5.83333	41.14	100	30	70	40
10.08000	23.81	90	25	70	25	5.81818	41.25	100	25	80	55
9.60000	25.00	100	25	60	25	5.76000	41.67	90	25	80	50
9.33333	25.71	100	25	70	30	5.71429	42.00	100	35	80	40
9.14286	26.25	100	25	80	35	5.65714	42.42	90	25	55	35
9.00000	26.67	100	25	90	40	5.60000	42.86	100	25	70	50
8.96000	26.79	80	25	70	25	5.50000	43.64	100	25	55	40
8.80000	27.27	100	25	55	25	5.48571	43.75	80	25	60	35
8.64000	27.78	90	25	60	25	5.45455	44.00	100	30	90	55
8.57143	28.00	100	30	90	35	5.40000	44.44	90	25	60	40
8.40000	28.57	90	25	70	30	5.33333	45.00	100	25	80	60
8.22857	29.17	90	25	80	35	5.28000	45.45	60	25	55	25
8.00000	30.00	100	25	80	40	5.25000	45.71	90	30	70	40
7.92000	30.30	90	25	55	25	5.23810	45.82	100	30	55	35
7.68000	31.25	80	25	60	25	5.23636	45.83	90	25	80	55
7.61905	31.50	100	30	80	35	5.14286	46.67	100	25	90	70
7.50000	32.00	100	30	90	40	5.13333	46.75	70	25	55	30
7.46667	32.14	80	25	70	30	5.12000	46.88	80	25	40	25
7.33333	32.73	100	25	55	30	5.09091	47.14	100	25	70	55
7.20000	32.33	100	25	90	50	5.04000	47.62	90	25	70	50
7.04000	34.09	80	25	55	25	5.02857	47.73	80	25	55	35
7.00000	34.29	100	25	70	40	5.00000	48.00	100	30	90	60
6.85714	35.00	100	25	60	35	4.95000	48.48	90	25	55	40
6.72000	35.71	70	25	60	25	4.84848	49.50	100	30	80	55
6.66667	36.60	100	30	80	40	4.80000	50.00	100	25	60	50
6.60000	36.36	90	25	55	30	4.76190	50.40	100	30	50	35
6.54545	36.67	100	25	90	55	4.71429	50.91	90	30	55	35
6.42857	37.33	100	35	90	40	4.67532	51.33	100	35	90	55
6.40000	37.50	100	25	80	50	4.66667	51.43	100	25	70	60

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮				交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮			
		z_1	z_2	z_3	z_4			z_1	z_2	z_3	z_4
4.58333	52.36	100	30	55	40	3.53571	67.88	90	35	55	40
4.58182	52.38	90	25	70	55	3.52000	68.18	80	25	55	50
4.57143	52.50	100	25	80	70	3.50000	68.57	100	25	70	80
4.50000	53.33	100	25	90	80	3.49091	68.75	80	25	60	55
4.48000	53.57	80	25	70	50	3.42857	70.00	100	25	60	70
4.44444	54.00	100	30	80	60	3.39394	70.71	80	30	70	55
4.40000	54.55	100	25	55	50	3.36000	71.43	70	25	60	50
4.36364	55.00	100	25	60	55	3.33333	72.00	100	30	90	90
4.32000	55.56	90	25	60	50	3.30000	72.73	90	25	55	60
4.28571	56.00	100	30	90	70	3.27273	73.33	100	50	90	55
4.26667	56.25	80	25	40	30	3.26667	73.47	70	25	35	30
4.24242	56.57	100	30	70	55	3.26531	73.50	100	35	80	70
4.20000	57.14	90	25	70	60	3.21429	74.67	100	35	90	80
4.19048	57.27	80	30	55	35	3.20833	74.81	70	30	55	40
4.16667	57.60	100	30	50	40	3.20000	75.00	100	25	80	100
4.15584	57.75	100	35	80	55	3.18182	75.43	100	40	70	55
4.12500	58.18	90	30	55	40	3.15000	76.19	90	25	70	80
4.11429	58.33	90	25	80	70	3.14286	76.36	100	25	55	70
4.09091	58.67	100	40	90	55	3.11688	77.00	100	35	60	55
4.07273	58.93	80	25	70	55	3.11111	77.14	100	25	70	90
4.00000	60.00	100	25	90	90	3.08571	77.78	90	25	60	70
3.96000	60.61	90	25	55	50	3.08000	77.92	70	25	55	50
3.92857	61.09	100	35	55	40	3.05556	78.55	100	30	55	60
3.92727	61.11	90	25	60	55	3.05455	78.57	70	25	60	55
3.92000	61.22	70	25	35	25	3.04762	78.75	80	30	40	35
3.83839	61.71	100	30	70	60	3.03030	79.20	100	30	50	55
3.85714	62.22	90	35	60	40	3.00000	80.0	100	30	90	100
3.85000	62.34	70	25	55	40	2.96296	81.00	100	30	80	90
3.84000	62.50	80	25	60	50	2.93878	81.67	90	35	80	70
3.81818	62.86	90	30	70	55	2.93333	81.82	80	25	55	60
3.80952	63.00	100	30	80	70	2.91667	82.29	100	30	70	80
3.77143	63.64	60	25	55	35	2.90909	82.50	100	50	80	55
3.75000	64.00	100	30	90	80	2.88000	83.33	90	25	80	100
3.74026	64.17	90	35	80	55	2.86364	83.81	90	40	70	55
3.73333	64.29	80	25	70	60	2.85714	84.00	100	35	90	90
3.67347	65.33	100	35	90	70	2.82857	84.85	90	25	55	70
3.66667	65.45	100	25	55	60	2.81250	85.33	100	40	90	80
3.65714	65.63	80	25	40	35	2.80519	85.56	90	35	60	55
3.63636	66.00	100	40	80	55	2.80000	85.71	100	25	70	100
3.60000	66.67	100	25	90	100	2.77778	86.40	100	30	50	60
3.57143	67.20	100	35	50	40	2.75000	87.27	100	25	55	80
3.55556	67.50	100	25	80	90	2.74286	87.50	80	25	60	70

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4	交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4
2.72727	88.00	100	55	90	60	2.18182	110.00	100	50	60	55
2.70000	88.89	90	25	60	80	2.16000	111.11	90	25	60	100
2.66667	90.00	100	30	80	100	2.14286	112.00	100	60	90	70
2.64000	90.91	60	25	55	50	2.13889	112.21	70	30	55	60
2.62500	91.43	90	30	70	80	2.13333	112.50	80	25	60	90
2.61905	91.64	100	30	55	70	2.12121	113.14	100	55	70	60
2.61818	91.67	90	50	80	55	2.10000	114.29	90	30	70	100
2.59740	92.40	100	35	50	55	2.09524	114.55	80	30	55	70
2.59259	95.57	100	30	70	90	2.08333	115.20	100	30	50	80
2.57143	93.33	100	35	90	100	2.07792	115.50	100	55	80	70
2.56667	93.51	70	25	55	60	2.07407	115.71	80	30	70	90
2.56000	93.75	80	25	40	50	2.06250	116.36	90	30	55	80
2.54545	94.29	100	50	70	55	2.05714	116.67	90	35	80	100
2.53968	94.50	100	35	80	90	2.04545	117.33	100	55	90	80
2.52000	95.24	90	25	70	100	2.04167	117.55	70	30	35	40
2.51429	95.45	80	25	55	70	2.04082	117.60	100	35	50	70
2.50000	96.00	100	40	90	90	2.03704	117.82	100	30	55	90
2.49351	96.25	80	35	60	55	2.03636	117.86	80	50	70	55
2.48889	96.43	80	25	70	90	2.02041	118.79	90	35	55	70
2.47500	96.97	90	25	55	80	2.00000	120.00	100	50	90	90
2.45455	97.78	90	40	60	55	1.98000	121.21	90	25	55	100
2.45000	97.96	70	25	35	40	1.96875	121.90	90	40	70	80
2.44898	98.00	100	35	60	70	1.96429	122.18	100	35	55	80
2.44444	98.18	100	25	55	90	1.96364	122.22	90	50	60	55
2.42424	99.00	100	55	80	60	1.96000	122.45	70	25	35	50
2.40000	100.00	100	25	60	100	1.95918	122.50	80	35	60	70
2.38095	100.80	100	30	50	70	1.95556	122.73	80	25	55	90
2.35714	101.82	90	30	55	70	1.94444	123.43	100	40	70	90
2.33766	102.67	100	55	90	70	1.93939	123.75	80	30	40	55
2.33333	102.86	100	30	70	100	1.92857	124.44	90	35	60	80
2.32727	103.13	80	25	40	55	1.92500	124.68	70	25	55	80
2.29167	104.73	100	30	55	80	1.92000	125.00	80	25	60	100
2.29091	104.76	90	50	70	55	1.90909	125.71	90	55	70	60
2.28571	105.00	100	35	80	100	1.90476	126.00	100	60	80	70
2.27273	105.60	100	40	50	55	1.88571	127.27	60	25	55	70
2.25000	106.67	100	40	90	100	1.87500	128.00	100	60	90	80
2.24490	106.91	100	35	55	70	1.87013	128.33	90	55	80	70
2.24000	107.14	80	25	70	100	1.86667	128.57	80	30	70	100
2.22222	108.00	100	40	80	90	1.85185	129.60	100	30	50	90
2.20408	108.89	90	35	60	70	1.83673	130.67	90	35	50	70
2.20000	109.09	100	25	55	100	1.83333	130.91	100	30	55	100
2.18750	109.71	100	40	70	80	1.82857	131.25	80	25	40	70

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4	交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4
1.81818	132.00	100	55	90	90	1.50000	160.00	100	60	90	100
1.80000	133.33	100	50	90	100	1.48485	161.63	70	30	35	55
1.79592	133.64	80	35	55	70	1.48148	162.00	100	60	80	90
1.78571	134.40	100	35	50	80	1.46939	163.33	90	35	40	70
1.78182	134.69	70	25	35	55	1.46667	163.64	80	60	55	100
1.77778	135.00	100	50	80	90	1.45833	164.57	100	30	70	80
1.76786	135.76	90	35	55	80	1.45455	165.00	100	55	80	100
1.76000	136.36	80	25	55	100	1.44000	166.67	90	50	80	100
1.75000	137.14	100	40	70	100	1.43182	167.62	90	55	70	80
1.74603	137.45	100	35	55	90	1.42857	168.00	100	70	90	90
1.74545	137.50	80	50	60	55	1.42593	168.31	70	30	55	90
1.71875	139.64	100	40	55	80	1.42222	168.75	80	25	40	90
1.71429	140.00	100	35	60	100	1.41429	169.70	90	35	55	100
1.71111	140.26	70	25	55	90	1.41414	169.71	100	55	70	90
1.69697	141.43	80	55	70	60	1.40625	170.67	90	40	50	80
1.68750	142.22	90	40	60	80	1.40260	171.11	90	55	60	70
1.68000	142.86	70	25	60	100	1.40000	171.43	100	50	70	100
1.66667	144.00	100	60	90	90	1.39683	171.82	80	35	55	90
1.66234	144.38	80	35	40	55	1.38889	172.80	100	40	50	90
1.65000	145.45	90	30	55	100	1.37500	174.55	100	40	55	100
1.63636	146.67	100	55	90	100	1.37143	175.00	80	35	60	100
1.63333	146.94	70	25	35	60	1.36364	176.00	100	55	60	80
1.63265	147.00	100	35	40	70	1.36111	176.33	70	30	35	60
1.62963	147.27	80	30	55	90	1.35000	177.78	90	40	60	100
1.61616	148.50	100	55	80	90	1.34694	178.18	60	35	55	70
1.60714	149.33	100	70	90	80	1.33333	180.00	100	60	80	100
1.60417	149.61	70	30	55	80	1.32000	181.82	30	25	55	100
1.60000	150.00	100	50	80	100	1.31250	182.86	90	60	70	80
1.59091	150.86	100	55	70	80	1.30952	183.27	100	60	55	70
1.58730	151.20	100	35	50	90	1.30909	183.33	90	55	80	100
1.57500	152.38	90	40	70	100	1.30012	183.75	80	35	40	70
1.57143	152.73	100	35	55	100	1.29870	184.80	100	55	50	70
1.56250	153.60	100	40	50	80	1.29630	185.14	100	60	70	90
1.55844	154.00	100	55	60	70	1.28571	186.67	100	70	90	100
1.55556	154.29	100	50	70	90	1.28333	187.01	70	30	55	100
1.54688	155.15	90	40	55	80	1.28000	187.50	80	25	40	100
1.54286	155.56	90	35	60	100	1.27273	188.57	100	55	70	100
1.54000	155.84	70	25	55	100	1.26984	189.00	100	70	80	90
1.52778	157.09	100	40	55	90	1.26000	190.48	90	50	70	100
1.52727	157.14	70	50	60	55	1.25714	190.91	80	35	55	100
1.52381	157.50	80	35	60	90	1.25000	192.00	100	80	90	90
1.51515	158.40	100	55	50	60	1.24675	192.50	80	55	60	70

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮				交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮			
		z_1	z_2	z_3	z_4			z_1	z_2	z_3	z_4
1.24444	192.86	80	50	70	90	1.02273	234.67	90	55	50	80
1.23750	193.94	90	40	55	100	1.02083	235.10	70	30	35	80
1.22727	195.56	90	55	60	80	1.02041	235.20	100	35	25	70
1.22500	195.92	70	25	35	80	1.01852	235.64	100	60	55	90
1.22449	196.00	100	35	30	70	1.01818	235.71	80	55	70	100
1.22222	196.36	100	50	55	90	1.01587	236.25	80	35	40	90
1.21212	198.00	100	55	60	90	1.01010	237.60	100	55	50	90
1.20313	199.48	70	40	55	80	1.00000	240.00	100	90	90	100
1.20000	200.00	100	50	60	100	0.99000	242.42	90	50	55	100
1.19048	201.60	100	60	50	70	0.98438	243.81	90	40	35	80
1.18519	202.50	80	30	40	90	0.98214	244.36	100	70	55	80
1.17857	203.64	90	60	55	70	0.98182	244.44	90	55	60	100
1.16833	205.33	90	55	50	70	0.98000	244.90	70	25	35	100
1.16667	205.71	100	60	70	100	0.97959	245.00	80	35	30	70
1.16364	206.25	80	50	40	55	0.97778	245.45	80	50	55	90
1.14583	209.46	100	60	55	80	0.97222	246.86	100	80	70	90
1.14545	209.52	90	55	70	100	0.96970	247.50	80	55	60	90
1.14286	210.00	100	70	80	100	0.96429	248.89	90	70	60	80
1.13636	211.20	100	55	50	80	0.96250	249.35	70	40	55	100
1.13131	212.14	80	55	70	90	0.96000	250.00	80	50	60	100
1.12500	213.33	100	80	90	100	0.95455	251.43	90	55	35	60
1.12245	213.82	55	35	50	70	0.95238	252.00	100	70	60	90
1.12000	214.29	80	50	70	100	0.94286	254.55	60	35	55	100
1.11364	215.51	70	40	35	55	0.93750	256.00	100	40	30	80
1.11111	216.00	100	80	80	90	0.93506	256.67	90	55	40	70
1.10204	217.78	90	35	30	10	0.93333	257.14	80	60	70	100
1.10000	218.18	100	50	55	100	0.92593	259.20	100	60	50	90
1.09375	219.43	100	40	35	80	0.91837	261.33	90	35	25	70
1.09091	220.00	100	55	60	100	0.91667	261.82	100	60	55	100
1.08889	220.41	70	25	35	90	0.91429	262.50	80	35	40	100
1.08000	222.22	90	50	60	100	0.90909	264.00	100	55	50	100
1.07143	224.00	100	70	60	80	0.90741	264.49	70	30	35	90
1.06944	224.42	70	40	55	90	0.90000	266.67	90	80	80	100
1.06667	225.00	80	50	60	90	0.89796	267.27	55	35	40	70
1.06061	226.29	100	55	35	60	0.89286	268.80	100	70	50	80
1.05000	228.57	90	60	70	100	0.89091	269.39	70	50	35	55
1.04762	229.09	80	60	55	70	0.88889	270.00	100	90	80	100
1.04167	230.40	100	60	50	80	0.88393	271.52	90	70	55	80
1.03896	231.00	100	55	40	70	0.88000	272.73	80	50	55	100
1.03704	231.43	80	60	70	90	0.87500	274.29	100	80	70	100
1.03125	232.73	90	60	55	80	0.87302	274.91	100	70	55	90
1.02857	233.33	90	70	80	100	0.87273	275.00	80	55	60	100

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4	交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4
0.85938	279.27	55	40	50	80	0.71111	337.50	80	50	40	90
0.85714	280.00	100	70	60	100	0.70707	339.43	100	55	35	90
0.85556	280.52	70	50	55	90	0.70313	341.33	90	40	25	80
0.84848	282.86	80	55	35	60	0.70130	342.22	90	55	30	70
0.84375	284.44	90	40	30	80	0.70000	342.86	100	50	35	100
0.84000	285.71	70	50	60	100	0.69841	343.64	80	70	55	90
0.83333	288.00	100	80	60	90	0.69444	345.60	100	80	50	90
0.83117	288.75	80	55	40	70	0.68750	349.09	100	80	55	100
0.82500	290.91	90	60	55	100	0.68571	350.00	80	70	60	100
0.81818	293.33	90	55	50	100	0.68182	352.00	100	55	30	70
0.81667	293.88	70	30	35	100	0.68056	352.65	70	40	35	90
0.81633	294.00	80	35	25	70	0.67500	355.56	90	80	60	100
0.81481	294.55	80	60	55	90	0.67347	356.36	55	35	30	70
0.80808	297.00	100	55	40	90	0.66667	360.00	100	90	60	100
0.80357	298.67	90	70	50	80	0.66000	363.64	60	50	55	100
0.80208	299.22	70	60	55	80	0.65625	365.71	90	60	35	80
0.80000	300.00	100	50	40	100	0.65476	366.55	55	60	50	70
0.79545	301.71	100	55	35	80	0.65455	366.67	90	55	40	100
0.79365	302.40	100	70	50	90	0.64935	369.60	100	55	25	70
0.78750	304.76	90	80	70	100	0.64815	370.29	100	60	35	90
0.78571	305.46	100	70	55	100	0.64646	371.25	80	55	40	90
0.78125	307.20	100	40	25	80	0.64286	373.33	90	70	50	100
0.77922	308.00	100	55	30	70	0.64167	374.03	70	60	55	100
0.77778	308.57	100	90	70	100	0.64000	375.00	80	50	40	100
0.77143	311.11	90	70	60	100	0.63636	377.14	100	55	35	100
0.77000	311.69	70	50	55	100	0.63492	378.00	100	70	40	90
0.76563	313.47	70	40	35	80	0.63000	380.95	90	50	35	100
0.76389	314.18	100	80	55	90	0.62857	381.82	80	70	55	100
0.76364	314.29	70	55	60	100	0.62500	384.00	100	80	50	100
0.76190	315.00	80	70	60	90	0.62338	385.00	80	55	30	70
0.75758	316.80	100	55	25	60	0.62222	385.71	80	90	70	100
0.75000	320.00	100	80	60	100	0.61875	387.88	90	80	55	100
0.74242	323.27	70	55	35	60	0.61364	391.11	90	55	30	80
0.74074	324.00	100	60	40	90	0.61250	391.84	70	40	35	100
0.73469	326.67	60	35	30	70	0.61224	392.00	60	35	25	70
0.73333	327.27	80	60	55	100	0.61111	392.73	100	90	55	100
0.72917	329.14	100	60	35	80	0.60606	396.00	100	55	30	90
0.72727	330.00	100	55	40	100	0.60156	398.96	55	40	35	80
0.72000	333.33	90	50	40	100	0.60000	400.00	100	50	30	100
0.71591	335.24	90	55	35	80	0.59524	403.20	100	60	25	70
0.71429	336.00	100	70	50	100	0.59259	405.00	80	60	40	90
0.71296	336.62	70	60	55	90	0.58929	407.27	60	70	55	80

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4	交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4
0.58442	410.67	90	55	25	70	0.48485	495.00	80	55	30	90
0.58333	411.43	100	60	35	100	0.48214	497.78	90	70	30	80
0.58182	412.50	80	55	40	100	0.48125	498.70	70	80	55	100
0.57292	418.91	55	60	50	80	0.48000	500.00	80	50	30	100
0.57273	419.05	90	55	35	100	0.47727	502.86	70	55	30	80
0.57143	420.00	100	70	40	100	0.47619	504.00	100	70	30	90
0.56818	422.40	100	55	25	80	0.47143	509.09	60	70	55	100
0.56566	424.29	80	55	35	90	0.46875	512.00	90	60	25	80
0.56250	426.67	90	80	50	100	0.46753	513.33	60	55	30	70
0.56122	427.64	55	35	25	70	0.46667	514.29	80	60	35	100
0.56000	428.57	80	50	35	100	0.46296	518.40	100	60	25	90
0.55682	431.02	70	55	35	80	0.45833	523.64	60	80	55	90
0.55556	432.00	100	90	50	100	0.45714	525.00	80	70	40	100
0.55000	436.36	90	90	55	100	0.45455	528.00	100	55	25	100
0.54688	438.86	70	40	25	80	0.45370	528.98	70	60	35	90
0.54545	440.00	100	55	30	100	0.45000	533.33	90	80	40	100
0.54444	400.82	70	50	35	90	0.44643	537.60	100	70	25	80
0.54000	444.44	90	50	30	100	0.44545	538.78	70	55	35	100
0.53571	448.00	100	70	30	80	0.44444	540.00	100	90	40	100
0.53472	448.83	70	80	55	90	0.44000	545.45	55	50	40	100
0.53333	450.00	80	90	60	100	0.43750	548.57	100	80	35	100
0.53030	452.57	70	55	25	60	0.43651	549.82	55	70	50	90
0.52500	457.14	90	60	35	100	0.43636	550.00	80	55	30	100
0.52381	458.18	60	70	55	90	0.42969	558.55	55	40	25	80
0.52083	460.80	100	60	25	80	0.42857	560.00	100	70	30	100
0.51948	462.00	80	55	25	70	0.42778	561.04	70	90	55	100
0.51852	462.86	80	60	35	90	0.42424	565.72	70	55	30	90
0.51563	465.45	55	40	30	80	0.42000	571.43	70	50	30	100
0.51429	466.67	90	70	40	100	0.41667	576.00	100	80	30	90
0.51136	469.33	90	55	25	80	0.41250	581.82	60	80	55	100
0.51042	470.20	70	60	35	80	0.40909	586.67	90	55	25	100
0.51020	470.40	50	35	25	70	0.40833	587.76	70	60	35	100
0.50926	471.27	55	60	50	90	0.40816	588.00	40	35	25	70
0.50909	471.43	80	55	35	100	0.40741	589.09	55	60	40	90
0.50794	472.50	80	70	40	90	0.40404	594.00	80	55	25	90
0.50505	475.20	100	55	25	90	0.40179	597.33	90	70	25	80
0.50000	480.00	100	80	40	100	0.40104	598.44	55	60	35	80
0.49495	484.90	70	55	35	90	0.40000	600.00	90	90	40	100
0.49107	488.73	55	70	50	80	0.39773	603.43	70	55	25	80
0.49091	488.89	90	55	30	100	0.39683	604.80	100	70	25	90
0.49000	489.80	70	50	35	100	0.39375	609.52	90	80	35	100
0.48980	490.00	40	35	30	70	0.39286	610.91	55	70	50	100
0.48889	490.91	80	90	55	100	0.39063	614.40	50	40	25	80
0.48611	493.71	100	80	35	90	0.38961	616.00	60	55	25	70

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮				交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮			
		z_1	z_2	z_3	z_4			z_1	z_2	z_3	z_4
0.38889	617.14	100	90	35	100	0.30000	800.00	90	90	30	100
0.38571	622.22	90	70	30	100	0.29762	806.40	50	60	25	70
0.38500	623.38	55	50	35	100	0.29464	814.55	55	70	30	80
0.38194	628.36	55	80	50	90	0.29167	822.86	70	80	30	90
0.38182	628.57	70	55	30	100	0.28646	837.82	55	60	25	80
0.38095	630.00	80	70	30	90	0.28571	840.00	80	70	25	100
0.37879	633.60	50	55	25	60	0.28409	844.80	50	55	25	80
0.37500	640.00	100	80	30	100	0.28283	848.57	40	55	35	90
0.37037	648.00	80	60	25	90	0.28125	853.33	90	80	25	100
0.36667	654.55	60	90	55	100	0.28000	857.14	40	50	35	100
0.36458	658.29	70	60	25	80	0.27778	864.00	100	90	25	100
0.36364	660.00	80	55	25	100	0.27500	872.73	55	80	40	100
0.36000	666.67	60	50	30	100	0.27344	877.71	35	40	25	80
0.35714	672.00	100	70	25	100	0.27273	880.00	60	55	25	100
0.35648	673.25	55	60	35	90	0.27222	881.63	70	90	35	100
0.35556	675.00	80	90	40	100	0.26786	896.00	60	70	25	80
0.35354	678.86	70	55	25	90	0.26736	897.66	55	80	35	90
0.35000	685.71	90	90	35	100	0.26667	900.00	80	90	30	100
0.34921	687.27	55	70	40	100	0.26515	905.14	35	55	25	60
0.34722	691.20	100	80	25	90	0.26250	914.29	70	80	30	100
0.34375	698.18	55	80	50	100	0.26190	916.36	55	70	30	90
0.34286	700.00	80	70	30	100	0.26042	921.60	50	60	25	80
0.34091	704.00	60	55	25	80	0.25974	924.00	40	55	25	70
0.34028	705.31	70	80	35	90	0.25926	925.71	40	60	35	90
0.33750	711.11	90	80	30	100	0.25714	933.33	60	70	30	100
0.33333	720.00	100	90	30	100	0.25510	940.80	25	35	25	70
0.33000	727.27	55	50	30	100	0.25463	942.55	55	60	25	90
0.32813	731.43	35	40	30	80	0.25455	942.86	40	55	35	100
0.32738	733.09	55	60	25	70	0.25253	950.40	50	55	25	90
0.32727	733.33	60	55	30	100	0.25000	960.00	90	90	25	100
0.32468	739.20	50	55	25	70	0.24554	977.45	55	70	25	80
0.32407	740.57	70	60	25	90	0.24444	981.82	55	90	40	100
0.32143	746.67	90	70	25	100	0.24306	987.43	70	80	25	90
0.32083	748.05	55	60	35	100	0.24242	990.00	40	55	30	90
0.31818	754.29	70	55	25	100	0.24063	997.40	55	80	35	100
0.31746	756.00	80	70	25	90	0.24000	1000.00	40	50	30	100
0.31429	763.64	55	70	40	100	0.23864	1005.70	35	55	30	80
0.31250	768.00	100	80	25	100	0.23810	1008.00	60	70	25	90
0.31169	770.00	40	55	30	70	0.23571	1018.20	55	70	30	100
0.31111	771.43	80	90	35	100	0.23438	1024.00	30	40	25	80
0.30625	783.67	70	80	35	700	0.23333	1028.59	70	90	30	100
0.30612	784.00	30	35	25	70	0.23148	1036.81	50	60	25	90
0.30556	785.45	55	90	50	100	0.22917	1047.26	55	80	30	90
0.30303	792.00	60	55	25	90	0.22727	1056.00	50	55	25	100

（续）

交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4	交换齿轮的速比 i	导程 P_h /mm	交换齿轮 z_1	z_2	z_3	z_4
0.22500	1066.67	60	80	30	100	0.16204	1481.12	35	60	25	90
0.22321	1075.22	50	70	25	80	0.15909	1508.58	35	55	25	100
0.22222	1080.00	80	90	25	100	0.15873	1512.00	40	70	25	90
0.21875	1097.14	70	80	25	100	0.15625	1536.00	50	80	25	100
0.21825	1099.66	55	70	25	90	0.15556	1542.81	40	90	35	100
0.21818	1100.00	40	55	30	100	0.15278	1570.89	55	90	25	100
0.21429	1120.00	60	70	25	100	0.15152	1584.00	30	55	25	90
0.21389	1122.07	55	90	35	100	0.15000	1600.00	40	80	30	100
0.21212	1131.44	35	55	30	90	0.14881	1612.79	25	60	25	70
0.21000	1142.86	35	50	30	100	0.14583	1645.75	35	80	30	90
0.20833	1152.00	60	80	25	90	0.14286	1680.00	40	70	25	100
0.20625	1163.64	55	80	30	100	0.14205	1689.55	25	55	25	80
0.20202	1188.00	40	55	25	90	0.13889	1728.00	50	90	25	100
0.20000	1200.00	60	90	30	100	0.13636	1760.00	30	55	25	100
0.19886	1206.88	35	55	25	80	0.13393	1792.00	30	70	25	80
0.19841	1209.62	50	70	25	90	0.13333	1800.00	40	90	30	100
0.19643	1221.81	55	70	25	100	0.13125	1828.57	35	80	30	100
0.19531	1228.82	25	40	25	80	0.13021	1843.18	25	60	25	80
0.19481	1232.00	30	55	25	70	0.12626	1900.84	25	55	25	90
0.19444	1234.31	70	90	25	100	0.12500	1920.00	40	80	25	100
0.19097	1256.74	55	80	25	90	0.12153	1974.82	35	80	25	90
0.19097	1257.14	35	55	30	100	0.11905	2016.00	30	70	25	90
0.19048	1260.00	40	70	30	90	0.11667	2057.08	35	90	30	100
0.18939	1267.23	25	55	25	60	0.11574	2073.61	25	60	25	90
0.18750	1280.00	60	80	25	100	0.11364	2111.93	25	55	25	100
0.18519	1296.00	40	60	25	90	0.11161	2150.35	25	70	25	80
0.18333	1309.11	55	90	30	100	0.11111	2160.00	40	90	25	100
0.18229	1316.58	35	60	25	80	0.10938	2194.19	35	80	25	100
0.18182	1320.00	40	55	25	100	0.10714	2240.00	30	70	25	100
0.17857	1344.00	50	70	25	100	0.10417	2303.93	30	80	25	90
0.17677	1357.70	35	55	25	90	0.09921	2419.11	25	70	25	90
0.17500	1371.43	40	80	35	100	0.09722	2468.63	35	90	25	100
0.17361	1382.41	50	80	25	90	0.09375	2560.00	30	80	25	100
0.17188	1396.32	55	80	25	100	0.08929	2687.87	25	70	25	100
0.17143	1400.00	40	70	30	100	0.08681	2764.66	25	80	25	90
0.17045	1408.00	30	55	25	80	0.08333	2880.12	30	90	25	100
0.16667	1440.00	60	90	25	100	0.07813	3071.80	25	80	25	100
0.16234	1478.38	25	55	25	70	0.06944	3456.22	25	90	25	100

注：1. 本表所列导程数值只适用于图7-196的配置方式，其他方式不适用。其数值系按定数为40、丝杠螺距为 $P_{丝}$ =6mm计算出来的。

2. 表中交换齿轮 z_1 与 z_2、z_3 与 z_4、z_2 与 z_3、z_1 与 z_4 的齿数若相同（即速比为1），可将齿数一样的那对齿轮去掉。

3. 若交换齿轮配置方式不同于图7-196，可按速比 i 查用本表交换齿轮齿数。

4. 主、从动齿轮不可颠倒用。但主动交换齿轮 z_1、z_3 可换位，从动交换齿轮 z_2、z_4 也可换位。

5. 可在交换齿轮之间安装中间轮，以满足工件的转向需要。

由工件的螺旋方向来定。工件螺旋面为左旋时，工作台按顺时针方向扳转（见图7-197a）；工件螺旋面为右旋时，工作台则按逆时针方向扳转（见图7-197b）。

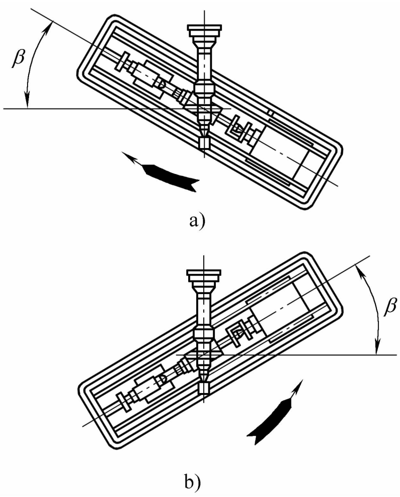


图7-197 铣削圆柱螺旋面时工作台的扳转方向

a）铣削左旋工件 b）铣削右旋工件

当用立铣刀铣削圆柱螺旋面时（见图7-198），则工作台不需要扳转角度。

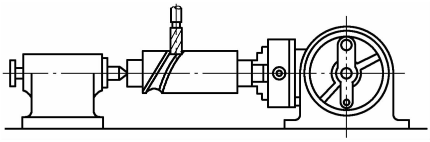


图7-198 用立铣刀铣削圆柱螺旋面

3. 铣刀的选择

螺旋面的形状是多种多样的，铣刀应根据螺旋槽的形状、尺寸和精度来选择。例如在铣削法向截面为矩形的螺旋槽时，应选用立铣刀来铣削（见图7-199）。由图7-199可知，只要选用立铣刀直径 $d_0=B$（槽宽），就可以准确地铣削出圆柱矩形螺旋槽。实际上，根据螺旋角的计算公式 $\tan\beta=\frac{\pi D}{P_h}$ 可知，在导程 P_h 不变的条件下，直径 D 越大，螺旋角 β 也越大，即不同直径圆柱表面上的螺旋角是不等的。由于螺旋槽的槽口与槽底直径不同，故其螺旋角是不等的。现将工件的外圆柱表面和槽底的圆柱表面展开并叠加在一起，可以看出，只有外圆柱面上的螺旋线和立铣刀的外圆相切，而槽底圆柱面上的螺旋线，由于其螺旋角小，因而不可能和立铣刀的外圆相切，这样立铣刀必然会将外圆柱面以下的螺旋面多切去一部分，使矩形螺旋槽的法向截面形状发生变化，这就是铣削矩形螺旋槽时的干涉现象（见图7-200）。

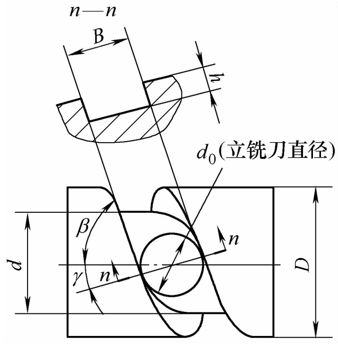


图7-199 用立铣刀铣削矩形螺旋槽

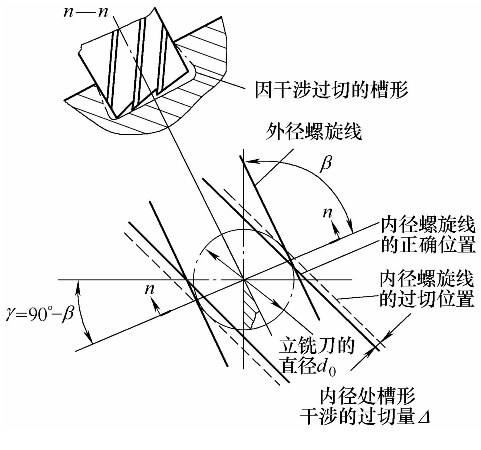


图7-200 用立铣刀铣削矩形螺旋槽时的干涉现象

必须指出，若用三面刃铣刀铣削矩形螺旋槽（见图7-201），由于铣刀两侧刃的运动轨迹是一个平面，无法与工件槽侧螺旋面相贴合，因而干涉现象更为严重。所以，选用立铣刀比三面刃铣刀加工时的过切的情况要轻些。由上可见，对于精度高的螺旋槽，要设计、制造专用铣刀来进行铣削。

4. 多头螺旋槽的铣削

如工件为多头螺旋面时，可在铣完一条螺

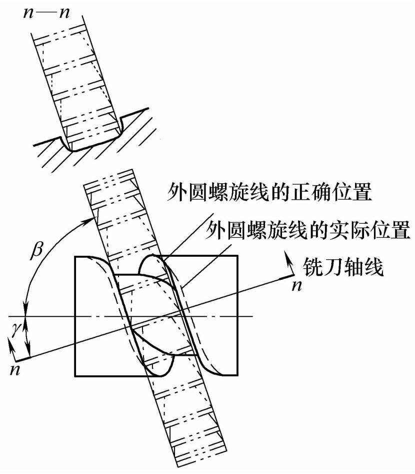


图7-201 用三面刃铣刀铣削矩形螺旋槽时的干涉现象

旋槽后，用分度头进行分度，再铣另一条。但是由于铣床和分度头传动系统中存在间隙，故在工件返程时，工作台的移动和分度头主轴的转动会不同步。因此，在铣完一条槽后，应先下降工作台，退出铣刀，然后返程，这样可避免铣刀擦伤已加工好的工件表面。返程后，再分度铣削下一条螺旋槽。

此外，当铣削导程 $P_h < 60$mm 的螺旋面时，由于挂轮速比较大，一般情况下应采用手动进给，即依靠转动分度头手柄并带动分度盘一起转动来实现。

5. 铣削圆柱螺旋槽常见的质量问题及原因分析

铣削圆柱螺旋槽常见的质量问题及原因分析见表7-36。

表7-36 铣削圆柱螺旋槽常见的质量问题及原因分析

质量问题	原 因 分 析
导程或升高量不准确	1）导程、交换齿轮比计算有错误 2）交换齿轮配置有错误 3）立铣刀切削位置调整精度差
螺旋槽干涉量过大	1）铣刀直径过大 2）工作台扳转角度不准
加工表面有“深啃”	进给中途曾停刀
表面粗糙度值大	1）铣刀不锋利，立铣刀刚性差或安装不妥，铣床悬梁、支架和刀杆轴承套之间的间隙过大 2）进给量过大 3）精铣时加工余量大 4）工件装夹刚性差，切削时振动较大 5）传动系统间隙过大 6）纵向工作台塞铁调整过松，进给时工作台晃动

7.3.9 斜齿圆柱齿轮的铣削

在铣床上用齿轮铣刀铣削斜齿圆柱齿轮，只适用于单件生产及精度要求不高的情况下。斜齿圆柱齿轮的轮齿与轴线相交一个螺旋角 β，故可用在铣床上铣削螺旋线的方法进行加工。

（1）铣刀的选择 若沿齿槽的法向将斜齿轮剖开，则截出的齿轮分度圆柱便成为椭圆形，在此椭圆上 P 点附近的齿形就是斜齿轮的法向齿形（见图7-202）。若作出形状与 P 点附近的椭圆近似的圆来代替椭圆，并以此圆当作齿轮的分度圆，则按法向齿形布满此分度圆的齿数，就称为当量齿数 $z_{当}$（也称假想齿数）。当量齿数的计算公式如下：

$$z_{当} = \frac{z}{\cos^3\beta}$$

式中 z——斜齿轮的实际齿数；

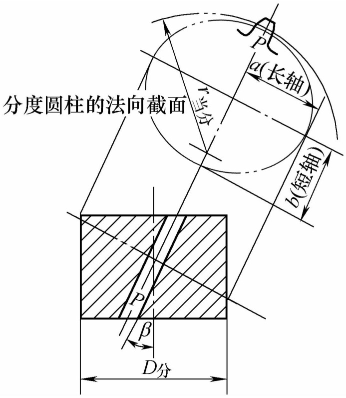


图7-202 斜齿圆柱齿轮的法向齿形

β——斜齿轮的螺旋角（°）。

选择铣刀，就是根据当量齿数 $z_{当}$，按表7-29选取铣刀的刀号。

为简化计算，可从表7-37中查出 K 值，再用 K 乘以斜齿轮的实际齿数，就可以得到当量齿数 $z_{当}$，即

$$z_{当} = Kz$$

式中　z——斜齿轮的实际齿数。

表 7-37　求当量齿数的 K 值

β	K	β	K	β	K
5°	1.011	24°30′	1.328	44°	2.687
5°30′	1.013	25°	1.344	44°30′	2.756
6°	1.016	25°30′	1.360	45°	2.828
6°30′	1.019	26°	1.377	45°30′	2.904
7°	1.022	26°30′	1.395	46°	2.983
7°30′	1.026	27°	1.414	46°30′	3.066
8°	1.030	27°30′	1.434	47°	3.152
8°30′	1.034	28°	1.454	47°30′	3.242
9°	1.038	28°30′	1.474	48°	3.336
9°30′	1.042	29°	1.495	48°30′	3.436
10°	1.047	29°30′	1.517	49°	3.540
10°30′	1.052	30°	1.540	49°30′	3.650
11°	1.057	30°30′	1.563	50°	3.767
11°30′	1.062	31°	1.588	50°30′	3.887
12°	1.068	31°30′	1.613	51°	4.012
12°30′	1.074	32°	1.640	51°30′	4.144
13°	1.080	32°30′	1.667	52°	4.284
13°30′	1.087	33°	1.695	52°30′	4.433
14°	1.094	33°30′	1.724	53°	4.586
14°30′	1.102	34°	1.755	53°30′	4.750
15°	1.110	34°30′	1.787	54°	4.925
15°30′	1.118	35°	1.819	54°30′	5.107
16°	1.127	35°30′	1.853	55°	5.295
16°30′	1.136	36°	1.889	55°30′	5.497
17°	1.145	36°30′	1.926	56°	5.710
17°30′	1.154	37°	1.966	56°30′	5.940
18°	1.163	37°30′	2.003	57°	6.190
18°30′	1.172	38°	1.044	57°30′	6.447
19°	1.182	38°30′	2.086	58°	6.720
19°30′	1.193	39°	2.130	58°30′	7.010
20°	1.204	39°30′	2.177	59°	7.321
20°30′	1.216	40°	2.225	59°30′	7.650
21°	1.228	40°30′	2.275	60°	8.000
21°30′	1.241	41°	2.326	60°30′	8.380
22°	1.254	41°30′	2.380	61°	8.780
22°30′	1.268	42°	2.436	61°30′	9.209
23°	1.282	42°30′	2.495	62°	9.685
23°30′	1.297	43°	2.557	62°30′	10.160
24°	1.312	43°30′	2.621		

当用盘形齿轮铣刀铣削圆柱斜齿轮时，在靠近齿顶和齿根处，齿形表面都会产生干涉现象（见图 7-201），斜齿轮的螺旋角 β 愈大，则过切量也愈大。故当螺旋角 $\beta > 20°$ 时，可采用下列精确公式来计算当量齿数 $z_{当}$：

$$z_{当} = \frac{z}{\cos^3\beta} + \frac{d_c}{m_n}\tan^2\beta$$

$$d_c = d_{刀} - 2.4m_n$$

式中 z——被加工斜齿轮的齿数；

m_n——被加工斜齿轮的法向模数（mm）；

β——被加工斜齿轮的螺旋角（°）；

d_c——盘形齿轮铣刀的中径（mm）；

$d_{刀}$——盘形齿轮铣刀的外径（mm）。

（2）交换齿轮的计算与安装　铣削斜齿圆柱齿轮时，交换齿轮传动比的计算（见图 7-196）可按下式进行

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40P_{丝}}{P_h}$$

因为

$$P_h = \frac{\pi m_n z}{\sin\beta}$$

所以

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40P_{丝}\sin\beta}{\pi m_n z}$$

式中 40——分度头定数；

$P_{丝}$——工作台纵向进给丝杠螺距（mm）；

P_h——斜齿圆柱齿轮的导程（mm）；

β——斜齿轮的螺旋角（°）；

m_n——斜齿轮的法向模数（mm）；

z——斜齿轮的齿数。

计算并选定交换齿轮 z_1、z_2、z_3、z_4，并进行安装（见表 7-38）。

（3）工作台扳转的角度和旋向　铣削斜齿圆柱齿轮时，工作台需在水平面内扳转一个角度 β（斜齿轮的螺旋角），其扳转方向可参见图 7-197 和表 7-38。

（4）铣削速度的选择　铣削斜齿轮时的铣削速度应比铣削同模数的直齿圆柱齿轮时略低（见表 7-30）。

（5）铣削斜齿轮时应注意的事项

1）铣削斜齿轮时，分度头手柄定位销要插入孔盘中，使工件随着纵向工作台的进给而连续转动。这时，应松开分度头主轴紧固手柄和孔盘紧固螺钉。

表 7-38　工作台扳转的方向和中间轮装置表

被加工齿轮螺旋方向	工作台扳转方向	交换齿轮及中间轮	
		两对交换齿轮	三对交换齿轮
右旋	逆时针转动	不加中间轮	加一个中间轮
左旋	顺时针转动	加一个中间轮	不加中间轮

2）当铣完一个齿槽后，停机后将工作台下降一定距离才能退刀，否则铣刀会擦伤已加工好的表面。退刀时，一定要用手动。

3）当铣完一个齿槽并按上述方法退刀后，将分度头手柄定位销，从分度盘孔中拔出进行分度，然后再将定位销插好，重新上升工作台到原来背吃刀量的位置后，再加工下一个齿槽。必须注意，当分度头手柄定位销从分度盘孔中拔出后，就切断了工件旋转和工作台进给运动的联系，故此时绝对禁止移动工作台。

（6）斜齿圆柱齿轮的测量

1）齿厚的测量。斜齿圆柱齿轮应在法向截面内测量法向弦齿厚。

① 固定弦齿厚的测量。斜齿轮固定弦齿厚 $\bar{s}_{cn}$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_{cn}$ 的测量方法与直齿圆柱齿轮的相同。当 $\alpha_n = 20°$ 时，其计算公式为

$$\bar{s}_{cn} = 1.387m_n$$

$$\bar{h}_{cn} = 0.7476m_n$$

式中 $\bar{s}_{cn}$——斜齿圆柱齿轮固定弦齿厚（mm）；

$\bar{h}_{cn}$——斜齿圆柱齿轮固定弦齿高（mm）；

m_n——斜齿圆柱齿轮法向模数（mm）。

为简化计算，在实际生产中，可从表 7-39 中直接查得固定弦齿厚 $\bar{s}_{cn}$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_{cn}$。

② 分度圆弦齿厚的测量。斜齿轮分度圆弦齿厚的测量方法与直齿圆柱齿轮的相同，其计算公式为

$$\bar{s}_n = m_n z_{当} \sin\frac{90°}{z_{当}}$$

表 7-39 固定弦齿厚 $\bar{s}_{cn}$ 和固定弦齿高 $\bar{h}_{cn}$（$\alpha=20°$） （单位：mm）

模数 m	固定弦齿厚 $\bar{s}_{cn}$	固定弦齿高 $\bar{h}_{cn}$	模数 m	固定弦齿厚 $\bar{s}_{cn}$	固定弦齿高 $\bar{h}_{cn}$
1	1.3871	0.7476	6	8.3223	4.4854
1.25	1.7338	0.9344	6.5	9.0158	4.8592
1.5	2.0806	1.1214	7	9.7093	5.2330
1.75	2.4273	1.3082	7.5	10.4029	5.6068
2	2.7741	1.4951	8	11.0964	5.9806
2.25	3.1209	1.6820	9	12.4834	6.7282
2.5	3.4677	1.8689	10	13.8705	7.4757
2.75	3.8144	2.0558	11	15.2575	8.2233
3	4.1612	2.2427	12	16.6446	8.9709
3.25	4.5079	2.4296	13	18.0316	9.7185
3.5	4.8547	2.6165	14	19.4187	10.4661
3.75	5.2017	2.8034	15	20.8057	11.2137
4	5.5482	2.9903	16	22.1928	11.9612
4.25	5.8950	3.1772	18	24.9669	13.4564
4.5	6.2417	3.3641	20	27.7410	14.9515
4.75	6.5885	3.5510	22	30.5151	16.4467
5	6.9353	3.7379	24	33.2892	17.9419
5.5	7.6288	4.1117	25	34.6762	18.6895

注：1. 对于标准斜齿圆柱齿轮，按法向模数查表。
2. 对于直齿锥齿轮，按大端模数查表。

$$\bar{h}_{an}=m_n\left[1+\frac{z_{当}}{2}\left(1-\cos\frac{90°}{z_{当}}\right)\right]$$

式中 $\bar{s}_n$——法向分度圆的弦齿厚（mm）；

$\bar{h}_{an}$——法向分度圆的弦齿高（mm）；

m_n——斜齿圆柱齿轮的法向模数（mm）；

$z_{当}$——斜齿圆柱齿轮的当量齿数。

2）公法线长度的测量。斜齿圆柱齿轮的公法线长度应在法向测量，其近似计算公式如下：

$$W_{kn}=m_n\cos\alpha_n\ [\pi(k-0.5)+z\mathrm{inv}\alpha_t]$$

式中 W_{kn}——斜齿圆柱齿轮的法向公法线长度（mm）；

m_n——斜齿圆柱齿轮的法向模数（mm）；

α_n——斜齿圆柱齿轮的法向压力角（°）；

$\mathrm{inv}\alpha_t$——斜齿圆柱齿轮端面压力角的渐开线函数值，$\mathrm{inv}\alpha_t=\tan\alpha_t-\alpha_t$；

z——斜齿圆柱齿轮的齿数；

k——跨齿数，$k=\frac{\alpha_t}{180°}z_{当}+0.5$。

公法线长度的计算有近似计算法和查表计算法，分述如下：

① 近似计算法。这种方法是先计算出斜齿轮的当量齿数 $z_{当}$，然后按 $z_{当}$ 从表 7-33 中查到直齿圆柱齿轮的公法线长度 W，再乘以斜齿轮的法向模数 m_n，两值的乘积即为斜齿圆柱齿轮的公法线长度 W_{kn}。必须指出，当斜齿轮的螺旋角 β 较大、齿数较多时，W_{kn} 值的近似计算误差太大，应采用查表计算法。

② 查表计算法。将公法线长度的近似计算公式简化为

$$W_{kn}=m_n\ (A+ZB)$$

式中 $A=\cos\alpha_n\pi\ (k-0.5)$

$B=\cos\alpha_n Z\mathrm{inv}\alpha_t$

先由图 7-203 中查出斜齿圆柱齿轮公法线长度测量的跨齿数 k，再从表 7-40 中查得计算系数 A 值、从表 7-41 中查得计算系数 B 值，将 A、B 值代入公法线长度的简化公式中，即

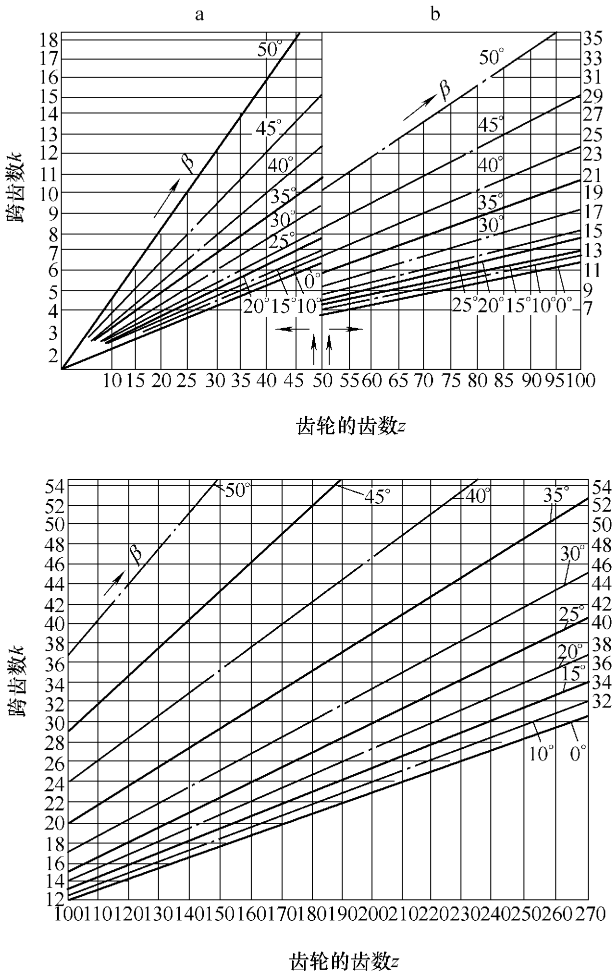


图 7-203 斜齿圆柱齿轮公法线长度测量的跨齿数 k

表 7-40 斜齿圆柱齿轮公法线长度的计算系数 A （$\alpha=20°$）

k	A	k	A	k	A	k	A
1	1. 4761	11	30. 9974	21	60. 5187	31	90. 0400
2	4. 4282	12	33. 9495	22	63. 4708	32	92. 9921
3	7. 3803	13	36. 9016	23	66. 4230	33	95. 9443
4	10. 3325	14	39. 8538	24	69. 3751	34	98. 8964
5	13. 2846	15	42. 8059	25	72. 3272	35	101. 8485
6	16. 2367	16	45. 7580	26	75. 2794	36	104. 8007
7	19. 1889	17	48. 7102	27	78. 2315	37	107. 7528
8	22. 1410	18	51. 6623	28	81. 1836	38	110. 7049
9	25. 0931	19	54. 6144	29	84. 1357	39	113. 6571
10	28. 0452	20	57. 5666	30	87. 0879	40	116. 6092

表 7-41 斜齿圆柱齿轮公法线长度的计算系数 *B*（$\alpha=20°$）

β	B	β	B	β	B
0°0′	0.014006	15°30′	0.015566	31°0′	0.021680
0°30′	0.014007	16°0′	0.015676	31°30′	0.022005
1°0′	0.014012	16°30′	0.015790	32°0′	0.022341
1°30′	0.014019	17°0′	0.015908	32°30′	0.022689
2°0′	0.014130	17°30′	0.016031	33°0′	0.023049
2°30′	0.014044	18°0′	0.016159	33°30′	0.023422
3°0′	0.014061	18°30′	0.016292	34°0′	0.023808
3°30′	0.014080	19°0′	0.016429	34°30′	0.024207
4°0′	0.014103	19°30′	0.016572	35°0′	0.024620
4°30′	0.014030	20°0′	0.016720	35°30′	0.025049
5°0′	0.014159	20°30′	0.016874	36°0′	0.025492
5°30′	0.014191	21°0′	0.017033	36°30′	0.025951
6°0′	0.014227	21°30′	0.017198	37°0′	0.026427
6°30′	0.014266	22°0′	0.017368	37°30′	0.026920
7°0′	0.014308	22°30′	0.017545	38°0′	0.027431
7°30′	0.014353	23°0′	0.017728	38°30′	0.027961
8°0′	0.014402	23°30′	0.017917	39°0′	0.028510
8°30′	0.014454	24°0′	0.018113	39°30′	0.029080
9°0′	0.014510	24°30′	0.018316	40°0′	0.029671
9°30′	0.014569	25°0′	0.018526	40°30′	0.030285
10°0′	0.014631	25°30′	0.018743	41°0′	0.030921
10°30′	0.014697	26°0′	0.018967	41°30′	0.031582
11°0′	0.014767	26°30′	0.019199	42°0′	0.032269
11°30′	0.014840	27°0′	0.019439	42°30′	0.032982
12°0′	0.014917	27°30′	0.019687	43°0′	0.033723
12°30′	0.014998	28°0′	0.019944	43°30′	0.034493
13°0′	0.015082	28°30′	0.020210	44°0′	0.035294
13°30′	0.015171	29°0′	0.020484	44°30′	0.036127
14°0′	0.015264	29°30′	0.020768	45°0′	0.036994
14°30′	0.015360	30°0′	0.021062		
15°0′	0.015461	30°30′	0.021366		

可求出斜齿圆柱齿轮的公法线长度 W_{kn}。

应当指出，当斜齿圆柱齿轮的齿宽 B 小于公法线长度 W_{kn} 的 $\sin\beta$ 倍数时，测量公法线长度卡尺的一只量爪就会落在齿轮的外边，即无法测量（见图 7-204）。此时，应改用测量固定弦齿厚或分度圆弦齿厚。

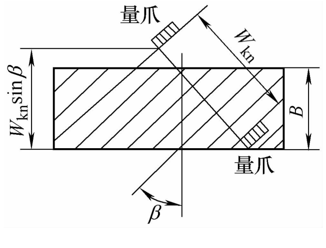


图 7-204 无法测量公法线长度

7.3.10 齿条的铣削

铣削小模数齿条时，常在卧式铣床上用盘形铣刀铣削；大模数齿条，可在立式铣床上用指形齿轮铣刀加工（见图 7-208）。

1. 直齿条的铣削

（1）短齿条的铣削

1）铣刀的选择与工件的安装。铣削齿条

的铣刀，一般都采用8把为一组的8号直齿圆柱齿轮铣刀。对于精度要求高的齿条，可用专用齿条铣刀来加工。

工件可装夹在机用虎钳内（见图7-205），也可把工件直接压紧在工件台面上（见图7-208）。批量生产时，可采用专用夹具夹持工件。

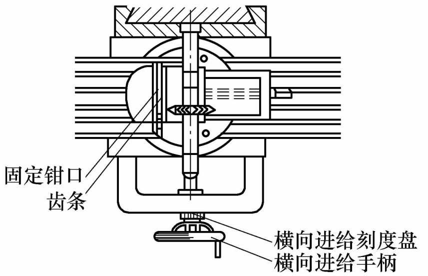


图7-205 利用进刀刻度盘分齿法控制齿条齿距

齿条坯件在安装时，应使齿顶面与工作台台面平行，工件一侧的定位表面和工作台横向进给方向平行。

2）控制齿条齿距的方法。在铣完一个齿后，应使工件移动一个齿距的距离，分齿后再铣削下一个齿槽。常用的控制齿条齿距的分齿方法有以下三种：

① 利用进刀刻度盘分齿法（见图7-205）。用横向进刀刻度盘，使工作台移动一个齿距的距离。刻度盘应转过的格数 N 可用下式算出

$$N=\frac{\pi m}{F}$$

然后用下式计算出刻度盘的转数 n

$$n=\frac{N}{P}$$

式中 F——刻度盘每格代表值（mm/格）；

P——刻度盘上一圈的总格数。

用上述两公式求出的数值中，整数部门是手柄的整转数，余下的数是应转过的格数。实际生产中，进刀刻度盘应转过的格数可由表7-42中查出。进刀刻度盘分齿法适用于精度不高、数量不多的短齿条加工中。

表7-42 进刀刻度盘应转过的格数

齿条模数/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
齿条齿距/mm	3.14	4.71	6.28	7.85	9.42	10.99	12.56	14.13	15.70
刻度盘转过的格数	62.8	94.2	125.6	157.0	188.4	219.8	251.2	282.6	314.0

注：表中数据适用于刻度盘每转过一格，工作台移动0.05mm的情况。

② 利用分度盘分齿法。这种方法是将分度头的分度盘和分度手柄改装在横向工作台丝杠的头部（见图7-206），铣好一齿后，将分度手柄转过一定的转数，其计算公式为

$$n=\frac{\pi m}{P_{丝}}$$

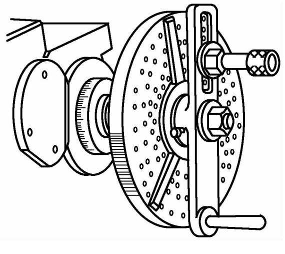


图7-206 利用分度盘分齿法控制齿条齿距

式中 n——分度盘手柄应转过的转数；

m——齿条的模数（mm）；

$P_{丝}$——铣床横向工作台丝杠的螺距（mm）。

例：如铣床的横向工作台进给丝杠的螺距 $P_{丝}=6$mm，齿条模数 $m=3$mm，设选取分度盘孔距数 $x=49$，求每铣完一齿后，分度手柄应转多少转？

$$n=\frac{\pi m}{P_{丝}}=\frac{3.14\times3}{6}=1\frac{28}{49}转$$

计算分度盘转数 n 时，所选用的分度盘孔距数在计算后尽量接近整数，这样能减少分齿中的误差。用分度盘分齿时分度手柄转过的转数可从表7-43中直接查出。这种方法控制齿距比刻度盘分齿较为精确，但增了改装的工作量。

表 7-43 用分度盘分齿时分度手柄转过的转数

齿条模数/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
齿条齿距/mm	3.14	4.71	6.28	7.85	9.42	10.99	12.56	14.13	15.70
分度手柄转数	$\frac{22}{42}$	$\frac{22}{48}$	$1\frac{2}{43}$	$1\frac{12}{39}$	$1\frac{28}{49}$	$1\frac{49}{59}$	$2\frac{4}{42}$	$2\frac{21}{59}$	$2\frac{29}{47}$

注：表中数据适用于进给丝杠螺距 $P_{丝}=6$mm 情况下使用。

③ 利用大量程指示表分齿法（见图 7-207）。这种方法是将指示表夹固在工作台横向导轨上，使指示表测头和横向工作台接触，然后按计算出的齿距进行分齿。用这种方法分齿准确、方便。

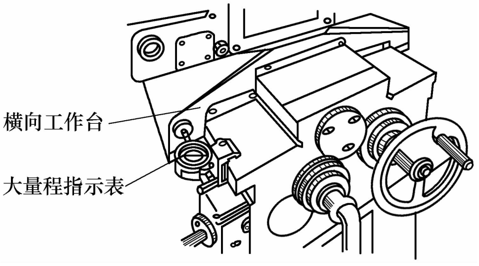


图 7-207 利用大量程指示表分齿法控制齿条齿距

（2）长齿条的铣削

1）工件的装夹。加工长齿条时，用横向工作台移距则尺寸不够，因此，要求一侧的定位表面和工作台纵向进给方向平行，并需用铣床纵向丝杠来控制齿距。工件可直接压在工作台台面上，或用专用夹具夹紧。

2）铣刀的安装及加工方法。

① 在立式铣床上用指形齿轮铣刀加工长齿条（见图 7-208）。工件直接压紧在工作台台面上，装夹工件时，应保证齿顶面与工作台台面的平行度以及齿条侧面与工作台纵向进给方向的平行度。

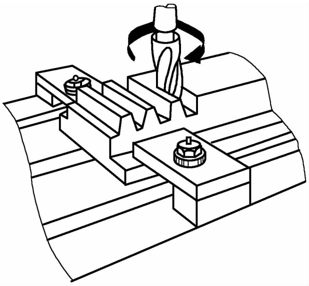


图 7-208 在立式铣床上用指形齿轮铣刀加工长齿条

② 横向刀架法。在卧式铣床上铣长齿条时，由于工件需垂直于铣床主轴中心线方向安装，因此，铣刀的切削方向必须转过 90°，使铣刀刀轴中心线和工作台的纵向进给方向平行。图 7-209 所示为卧式铣床上的横向刀架。用一个横向托架通过一对螺旋齿轮，使刀轴转过 90°，这样铣刀的旋转平面就和齿条的齿槽一致，才能实现齿条的铣削加工。

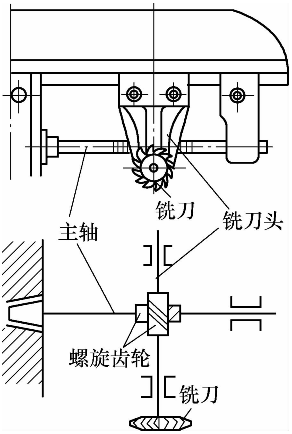


图 7-209 卧式铣床上的横向刀架

如果在立式铣床上用盘形齿轮铣刀铣齿条，则需利用图 7-210 所示的立式铣床上的横向刀架，才能进行齿条的铣削加工。

③ 用万能立铣头改装法。图 7-211 所示为用万能立铣头和专用铣头改装铣床铣长齿条。转动万能立铣头，使其主轴轴线平行于工作台纵向运动方向，然后加上一个专用铣头，铣头的轴线同样也平行于工作台纵向运动的方向，安装在专用铣头上的齿轮铣刀就可以对齿条进行铣削加工。

3）铣削长齿条齿距的控制方法。对于一般精度的齿条，就可用铣削短齿条时的方法控制齿距；如果长齿条的精度要求较高，则可利用分度头的直线移距分度法来控制齿距。由于

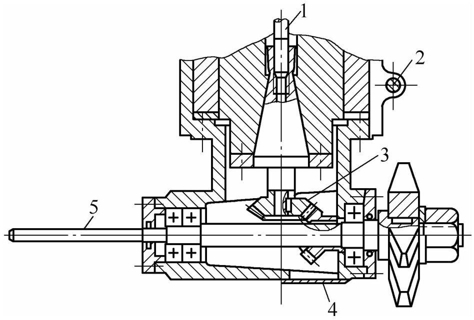


图 7-210 立式铣床上的横向刀架

1—拉杆 2—锁紧手柄 3—主动锥齿轮
4—底盖 5—刀杆校正部分

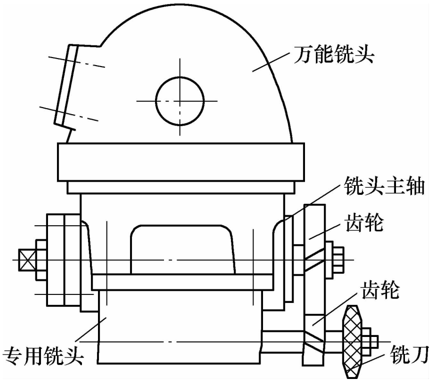


图 7-211 用万能立铣头和专用铣头改装铣床铣长齿条

齿条的移距值较大，宜采用侧轴交换齿轮法。由图 7-163 可见，即在分度头侧轴和纵向工作台丝杠之间，用交换齿轮 z_1、z_2、z_3、z_4 连接起来。分齿时，要求分度头的分度手柄转过 n 转时，纵向工作台应移动一个齿条的齿距。其关系式为

$$n\frac{z_1z_3}{z_2z_4}P_{丝}=\pi m$$

即
$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{\pi m}{nP_{丝}}$$

式中 m——齿条模数（mm）；

n——分度手柄的转数；

$P_{丝}$——纵向工作台丝杠的螺距（mm）；

z_1、z_3——交换齿轮主动轮齿数；

z_2、z_4——交换齿轮从动轮齿数。

设 $n=m$，即分度手柄的转数等于齿轮的模数，铣床纵向工作台丝杠的螺距 $P_{丝}=6$mm，则

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{\pi}{P_{丝}}=\frac{\frac{22}{7}}{6}=\frac{22}{7}\ \frac{1}{6}=\frac{11}{7}\ \frac{2}{6}=\frac{55}{70}\ \frac{40}{60}$$

即 $z_1=55$、$z_2=70$、$z_3=40$、$z_4=60$。

计算表明，在 $P_{丝}=6$mm，和装上以上 4 个交换齿轮后，铣任何模数为整数的齿条，分度手柄的转数等于齿条模数的数值。

例：在纵向工作台丝杠螺距 $P_{丝}$ 为 6mm 的铣床上，铣削模数 $m=3$mm 的 7 级精度长齿条，试确定交换齿轮的齿数和分度手柄的转数。

解：纵向工作台丝杠螺距 $P_{丝}=6$mm，故交换齿轮为

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{55\times40}{70\times60}$$

由于齿条模数 $m=3$mm，分齿时，分度手柄应转过 3 整圈。

对以上计算结果，可以用下式验算：

$$\pi m=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}P_{丝}\ n$$

代入数值，得

$$\pi m=(3.1416\times3)\ \text{mm}=9.425\text{mm}$$

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}P_{丝}\ n=\left(\frac{55\times40}{70\times60}\times6\times3\right)\text{mm}\approx9.428\text{mm}$$

$$(9.428-9.425)\ \text{mm}=0.003\text{mm}$$

验算结果证明，工作台移动距离和齿条齿距之差在公差范围内（齿条齿距的允许偏差见表 7-44）。

表 7-44 齿条齿距的允许偏差

（单位：μm）

精度等级	模数			
	1 ~ 2.5	2.5 ~ 6	6 ~ 10	10 ~ 16
5	±5	±7	±9	±11
6	±8	±11	±14	±18
7	±12	±18	±22	±28

当齿条的模数带有小数时，如 1.25、1.75 等，分齿时，所选分度盘的孔距数应能被 4 整除，则分度手柄的转数分别为 $1\frac{1}{4}$ 转和 $1\frac{3}{4}$ 转。举例如下：

例：在纵向工作台丝杠螺距 $P_{丝}$ 为 6mm 的铣床上，铣削模数 $m=1.75$mm 的 7 级精度长齿条，试确定交换齿轮齿数和分度手柄的转

数。

解：由于纵向工作台丝杠螺距 $P_{丝}=6\text{mm}$，所以交换齿轮的齿数与上例相同，即

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{55\times40}{70\times60}$$

（$z_1=55$、$z_2=70$、$z_3=40$、$z_4=60$）

由于模数 $m=1.75\text{mm}$，分齿时，分度手柄的转数 n 为

$$n=1.75=1\frac{3}{4}=1\frac{3\times7}{4\times7}=1\frac{21}{28}\text{转}$$

代入下式进行验算：

$$\pi m=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=P_{丝}\ n$$

代入数值得

$$\pi m=(3.1416\times1.75)\ \text{mm}\approx5.495\text{mm}$$

$$\frac{z_1z_2}{z_3z_4}=P_{丝}\ n=\left(\frac{55}{70}\times\frac{40}{60}\times6\times1.75\right)\text{mm}$$

$$=5.5\text{mm}$$

$$(5.5-5.495)\ \text{mm}=0.005\text{mm}$$

验算结果表明，工作台移动距离和齿条齿距之差在公差范围之内（见表 7-44）。

（3）用多刀或多齿铣刀铣削齿条　在批量生产中，为提高生产率，可采用多刀或多齿铣刀来铣削齿条。

1）齿条的多刀铣削（见图 7-212）。在刀轴上同时安装 6 把铣刀，这样一次便可铣出 6 个齿槽，然后进行分齿，继续铣削其他齿槽，用这种方法铣削齿条时，应注意以下几点：

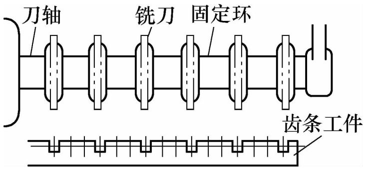


图 7-212　齿条的多刀铣削

①　铣刀的数目应根据齿条的槽数和铣床、刀轴的刚度来确定。

②　铣刀的直径和宽度应一致。

③　两相邻铣刀间的距离应等于齿条齿距乘以两相邻铣刀间间隔的齿数。

④　铣刀与铣刀之间的距离要严格控制（刀轴上的固定环长度尺寸要精确）。铣刀安装好后，最好先进行试铣，检查铣出齿条的齿距是否合格，若齿距不合要求，则应调整固定环的长度。

2）用多齿铣刀铣齿条。图 7-213 所示为多齿齿条铣刀。铣削时，将其安装在铣床的刀轴上，一次可铣出十条齿槽。加工时，先把工件找正、夹紧，然后令铣刀的第一个刀齿（图 7-213 中的 A 齿）对正毛坯的第一条齿槽位置，再调整、升高工作台进行铣削。当齿条的齿数大于铣刀的刀齿数时，应根据齿条的精度要求选择适当的分齿方法（分度盘分齿、刻度盘分齿等），分齿后继续铣削，直到完成齿条的全部加工。

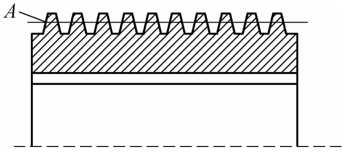


图 7-213　多齿齿条铣刀

（4）齿条的测量（见图 7-214）　铣削齿条必须保证齿距 P 和齿厚 s 的尺寸精度。测量时，先把游标卡尺的垂直尺调整到齿顶高，然后用水平尺测出两个齿形间的距离 T，再测量一个齿厚 s，由此得出实际齿距 $P=T-s$。将 P 值与计算齿距（$P=\pi m$）相比较，以判断齿距是否合格（见表 7-44）。

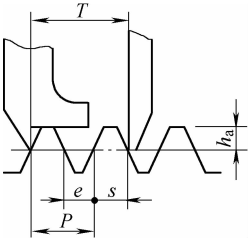


图 7-214　齿条的测量方法

2. 斜齿条的铣削

斜齿条的铣削方法与铣削直齿条的基本相同，只是铣削时工件相对刀具要转过一个螺旋角 β.

（1）短齿条的铣削　图 7-215 所示为在铣床上铣削短的斜齿条。铣削时，应根据斜齿条的法向模数在 8 把一套的铣刀中选取 8 号盘形齿轮铣刀。工件在台虎钳中安装时，为了使工件相对于铣刀轴线转过一个螺旋角 β，应转动台虎钳，使台虎钳钳口与铣刀刀杆轴线成螺旋角 β。如果工件的旋向是右旋，台虎钳钳口应

逆时针方向转动；如果工件的旋向是左旋，则台虎钳钳口应顺时针方向转动。铣完一齿后，分齿的移距尺寸为斜齿条的法向齿距，即 $P_n=\pi m_n$（见图7-216）。这种方法就是转动工件、横向移距铣削斜齿条。

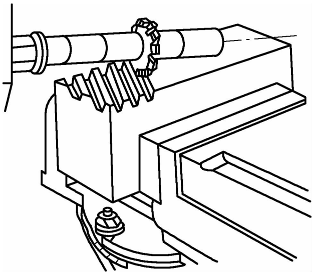


图7-215 在铣床上铣削短的斜齿条

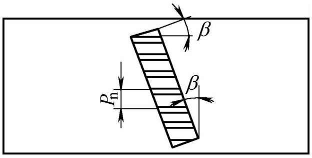


图7-216 工件的旋向和移距尺寸

（2）长齿条的铣削 长的斜齿条铣削时，如果螺旋角 β 较小而长度不是太长，则可将工件偏斜装夹（见图7-217）。校正时，可把工件的侧面调整到与工作台纵向进给方向成 β 角。用纵向移距法进行分齿，称距尺寸为斜齿条法向齿距，即 $P_n=\pi m_n$。

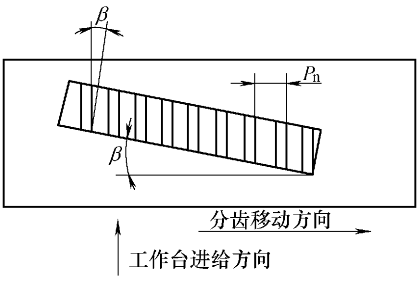


图7-217 偏斜装夹工件铣削长的斜齿条

当在万能铣床上铣削较长的斜齿条时，可采用转动工作台法，见图7-218。装夹时，先校正工件侧面与纵向进给方向平行，再将工作台扳转一个 β 角。每铣完一齿后，纵向工作台移动一个端面齿距 P_t 进行分齿。P_t 可按下式计算：

$$P_t=\frac{P_n}{\cos\beta}=\frac{\pi m_n}{\cos\beta}$$

式中 P_n——斜齿条的法向齿距（mm）；

β——斜齿条的螺旋角（°）；

m_n——斜齿条的法向模数（mm）。

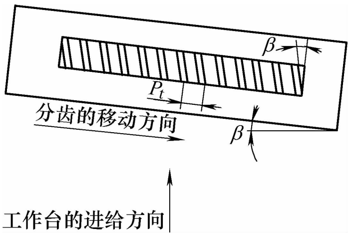


图7-218 转动工作台法铣削斜齿条

斜齿条的测量方法，与直齿条的相同，但应在法向齿面上测量。

7.3.11 直齿锥齿轮的铣削

直齿锥齿轮的齿形是向圆锥顶点逐渐收缩，齿槽的大端宽而深，小端窄而浅。因此，铣削锥齿轮的铣刀宽度适合大端就不适合小端，导致用直齿锥齿轮铣刀加工出的直齿锥齿轮精度较低，并且齿轮的齿数越少、齿宽越大时，误差也越大。

（1）直齿锥齿轮铣刀及其选择

1）直齿锥齿轮铣刀。图7-219所示为直齿锥齿轮铣刀，其端面上都有“⌓”或伞字标记。铣刀的齿形曲线按大端齿形设计，但为了在铣削时切削刃能通过小端，铣刀的宽度要按小端的齿槽宽度来确定。因此，锥齿轮铣刀要比圆柱齿轮铣刀薄得多。标准直齿锥齿轮铣刀的宽度是按节锥长 R 与齿宽 b 之比 $R/b=3$ 时的小端齿槽宽度来确定的（如考虑铣削时刀具的摆差，还可以再薄约0.1mm），适于加工 $R/b\geq3$ 的直齿锥齿轮；当 $R/b<3$ 时，则必须特制更薄的铣刀。每一种模数的直齿锥齿轮

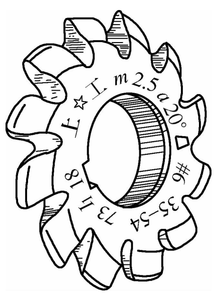


图7-219 直齿锥齿轮铣刀

铣刀有 8 把。

2）直齿锥齿轮铣刀的选用。直齿锥齿轮铣刀不能按齿轮的实际齿数来选择刀号，而是按直齿锥齿轮的当量齿数来确定。图 7-220 所示为直齿锥齿轮与当量圆柱齿轮。若将被加工直齿锥齿轮的锥背展成平面，可以得到一个扇形齿轮，再将扇形齿轮补足成圆柱齿轮，这一圆柱齿轮就是直齿锥齿轮的当量圆柱齿轮，而它的齿数就是直齿锥齿轮的当量齿数。当量齿数 $z_{当}$ 可按下式计算：

$$z_{当}=\frac{z}{\cos\delta}$$

式中　z——直齿锥齿轮的实际齿数；

δ——直齿锥齿轮的节锥角（°）。

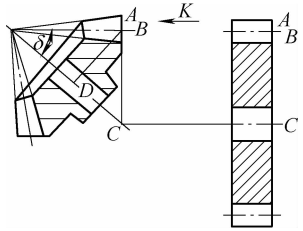


图 7-220　直齿锥齿轮与当量圆柱齿轮

在实际生产中，可以从图 7-221 中查出直齿锥齿轮铣刀的刀号，以简化计算。

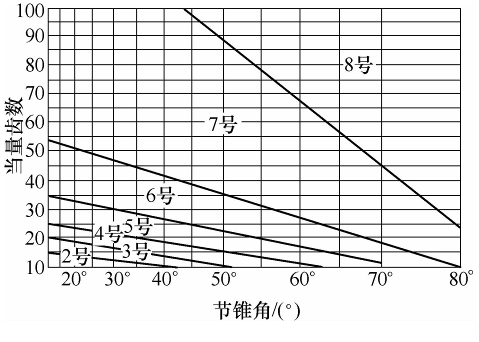


图 7-221　直齿锥齿轮铣刀的刀号

例：加工直齿锥齿轮的模数 $m=3\text{mm}$，齿数 $z=26$，节锥角 $\delta=45°$，应选几号铣刀？

解： $z_{当}=\dfrac{z}{\cos\delta}=\dfrac{26}{\cos45°}=36.77\approx37$

由表 7-29 可知，应选 6 号铣刀；由图 7-221 亦可查出为 6 号铣刀；铣刀模数 $m=3\text{mm}$。

（2）直齿锥齿轮齿坯的装夹校正和分度计算

1）直齿锥齿轮齿坯的安装和校正。图 7-222 所示为直齿锥齿轮齿坯的装夹，齿坯在分度头的自定心卡盘内夹紧。用指示分表测量齿坯大端与小端的径向跳动量，应控制在允许的数值范围内，然后仰起分度头主轴，仰角应与被加工直齿锥齿轮的根锥角 δ_f。

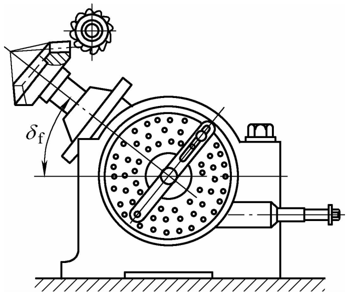


图 7-222　直齿锥齿轮齿坯的装夹

2）分度计算。分度计算按 $n=40/z$ 计算出分度头分度手柄的转数。

（3）铣刀的安装和对中　将选用的直齿锥齿轮铣刀安装在铣刀刀杆的适当位置上，紧固后进行对刀。若铣刀廓形的对称线不对准齿坯中心，就会使齿形不对称误差和齿向误差超差。在生产中，常用切痕法、划线法对刀。

（4）卧式铣床上铣削齿槽的方法

1）铣削齿槽中部。以大端为基准，将工作台升高一个大端全齿高后，即可铣削齿槽中部。铣削时，铣刀最好从大端进刀（见图 7-222），这样有把齿坯向下压的趋势，使铣削时不易产生振动。

2）齿槽两侧的偏铣。直齿锥齿轮铣刀的厚度是按直齿锥齿轮的小端齿槽宽度确定的，故齿槽中部铣好后，齿轮大端齿槽两侧还有一定的加工余量。而对于小端齿槽，若齿轮的节锥长与齿面宽度之比 $R/b\leqslant3$ 时，小端的加工已基本达到要求；如果 $R/b>3$ 时，则小端齿槽还有加工余量，余量由小端向大端逐渐增多。为使直齿锥齿轮的大、小端齿厚均达到图样要求，直齿锥齿轮的每个齿槽一般都要铣三刀。铣削直齿锥齿轮齿槽两侧的余量称为偏铣。目前，直齿锥齿轮在卧式铣床上常用的三种偏铣方法，介绍如下：

①　第一种方法。偏铣前，令分度头带动工件绕分度头主轴轴线转动，其转动量称为回转量，用 N 表示；还要横向移动工作台，其

移动量称为偏移量，用 S 表示。转动分度头主轴，是为了使大端齿厚多切去一些；横向移动工作台，是要使小端齿厚不被切去或少切去一些。偏铣齿槽左、右侧时，必须正确调整工作台的移动方向和分度头的回转方向。图7-223所示为工作台移动与分度头回转方向的关系。当铣削齿槽右侧时，先使分度头带动齿坯按逆时针方向（实线方向）转过回转量 N，然后向右（实线方向）横向移动工作台，移动时应注意使铣刀的一侧面刚好碰到小端齿槽的同一侧，但不要碰到另一侧。通过试铣，获得工作台偏移量 S 的数据，这样铣削完大端的一侧；然后工作台反向（虚线方向）移动 $2S$ 距离，而分度头也反向（虚线方向）转过 $2N$，铣削齿槽左侧。分度头回转量 N 可按下式计算：

$$N=\frac{A}{540z}$$

式中　A——齿坯的基本旋转角（′）；

z——工件的齿数。

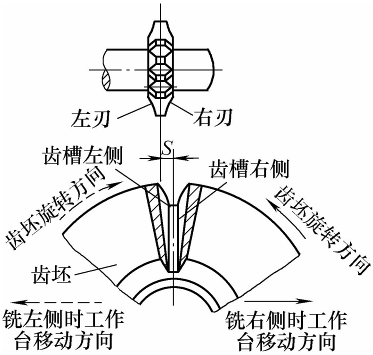


图7-223　工作台移动与分度头回转方向的关系

齿坯的基本旋转角 A 与刀号及 R/b 的比值有关。齿坯的基本旋转角 A 见表7-45。

表7-45　齿坯的基本旋转角 A　　（单位：′）

刀号 \ 比值 R/b	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{3}$	$3\frac{2}{3}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	6	8
1	1950	1885	1835	1720	1725	1695	1650	1610	1560	1500
2	2005	1955	1915	1860	1820	1795	1755	1725	1680	1625
3	2060	2020	1990	1950	1920	1900	1865	1840	1805	1765
4	2125	2095	2070	2035	2010	1995	1970	1950	1920	1880
5	2170	2145	2125	2095	2075	2065	2045	2030	2010	1980
6	2220	2205	2190	2175	2160	2150	2130	2115	2100	2080
7	2285	2270	2260	2250	2240	2235	2225	2220	2220	2180
8	2340	2335	2330	2320	2315	2310	2305	2300	2280	2260

② 第二种方法。第二种方法和第一种方法的区别是先计算出工作台的偏移量 S，而将分度头的回转量 N 由试铣确定。S 值（mm）按下式计算：

$$S=\frac{T}{2}-mx$$

式中　T——直齿锥齿轮铣刀在中径处的厚度，参见图7-224（mm）；

m——直齿锥齿轮大端模数（mm）；

x——偏移系数。

偏移系数 x 值和铣刀号数等有关，见表7-46。

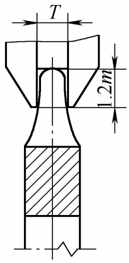


图7-224　直齿锥齿轮铣刀在中径处的厚度

③ 第三种方法。这种铣削齿槽侧面的方法是：将分度头底座在水平面内转动 β 角，而使铣刀廓形的对称线和齿坯轴线成一个角度，同时适量横向移动工作台，先铣去齿槽一侧余量；然后将分度头底座反向转过 2β 的角度，工作台横向也作反向移动，再铣削齿槽另一侧的余量。因此，分度头的底座要增加一个回转盘（见图7-225a）。

表 7-46 偏移系数 x

铣刀刀号	锥距 R 与齿宽 b 之比												
	3:1	$3\frac{1}{4}:1$	$3\frac{1}{2}:1$	$3\frac{3}{4}:1$	4:1	$4\frac{1}{4}:1$	$4\frac{1}{2}:1$	$4\frac{3}{4}:1$	5:1	$5\frac{1}{2}:1$	6:1	7:1	8:1
1	0.275	0.286	0.296	0.309	0.319	0.331	0.338	0.344	0.352	0.361	0.368	0.380	0.386
2	0.289	0.298	0.308	0.316	0.324	0.329	0.334	0.338	0.343	0.350	0.360	0.370	0.376
3	0.311	0.318	0.323	0.328	0.330	0.334	0.337	0.340	0.343	0.348	0.352	0.356	0.362
4	0.280	0.285	0.290	0.293	0.295	0.296	0.298	0.300	0.302	0.307	0.309	0.313	0.315
5	0.275	0.280	0.285	0.287	0.291	0.293	0.296	0.298	0.298	0.302	0.305	0.308	0.311
6	0.266	0.268	0.271	0.273	0.275	0.278	0.280	0.282	0.283	0.286	0.287	0.290	0.292
7	0.266	0.268	0.271	0.272	0.273	0.274	0.274	0.275	0.277	0.379	0.280	0.283	0.284
8	0.254	0.254	0.255	0.256	0.257	0.257	0.257	0.258	0.258	0.259	0.260	0.262	0.264

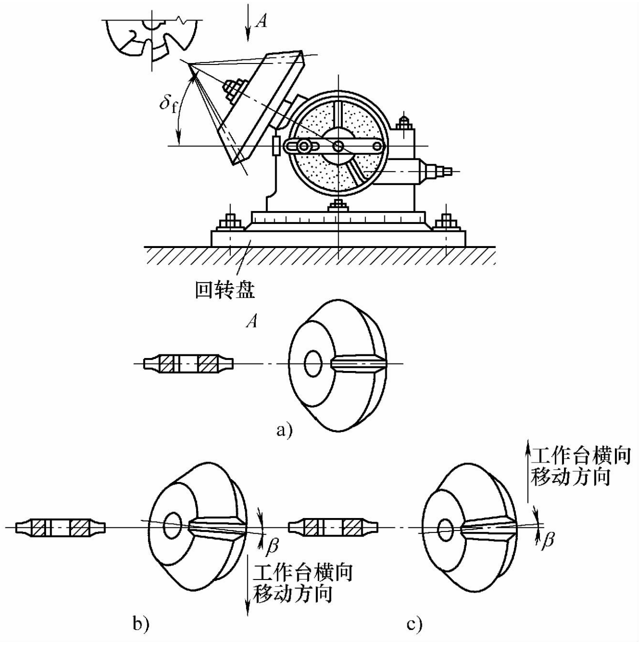


图 7-225 通过分度头底座旋转一个角度铣锥齿轮

a）铣齿槽中部 b）铣齿槽左侧 c）铣齿槽右侧

偏转角 β（°）的计算公式为

$$\tan\beta = \frac{e - e_1}{2b}$$

式中 e——直齿锥齿轮大端槽宽（mm）；

e_1——直齿锥齿轮小端槽宽（mm）；

b——直齿锥齿轮齿宽（mm）。

由于直齿锥齿轮的齿槽宽度等于分度圆弦齿厚，故可得：

$$\tan\beta = \frac{\bar{s} - \bar{s}_1}{2b}$$

式中 $\bar{s}$——直齿锥齿轮大端分度圆弦齿厚（mm）；

$\bar{s}_1$——直齿锥齿轮小端分度圆弦齿厚（mm）。

为简化计算，用直齿锥齿轮大、小端齿距的一半代入上式，即

$$\tan\beta \approx \frac{\pi m}{4R}$$

式中 m——直齿锥齿轮的模数（mm）；

R——直齿锥齿轮的锥距（mm）。

（5）在立式铣床上铣削直齿锥齿轮（见图 7-226） 在立式铣床上可采用上述的第三种方法铣削直齿锥齿轮。将分度头在水平面内旋转一个根锥角，并紧固在铣床工作台上。铣

削齿槽中部时（见图7-226a），把分度头主轴调整到和工作台台面平行。在铣削齿槽两侧时，应将分度头主轴向上抬起β角，并将工作台下降S距离；或将分度头主轴向下倾斜β角，并将工作台升高S距离，分别将齿槽的两侧铣好（见图7-226b、c）。必须指出：

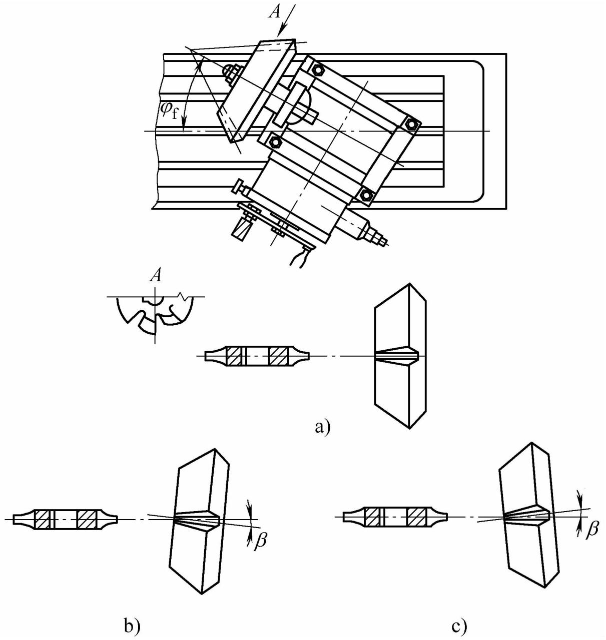


图7-226　在立式铣床上铣削直齿锥齿轮

a）铣削齿槽中部　b）铣削齿槽左侧　c）铣削齿槽右侧

1）由于β角的旋转轴线和齿坯轴线之间的相对位置与在卧式铣床上铣削时不同，故其β应按下式计算：

$$\tan\beta=\frac{\pi m}{4R\cos\delta_{根}}$$

式中　$\delta_{根}$——被加工直齿锥齿轮的根锥角（°）。

2）一般分度头主轴向下倾斜的最大角度为6°，如按上式计算出的β角大于6°时，则该锥齿轮不适宜在立式铣床上铣齿。

（6）铣削直齿锥齿轮时的注意事项

1）铣削直齿锥齿轮的重要问题之一是偏铣齿槽的两侧余量。为了使直齿锥齿轮的齿形正确、并对称于工件轴线，偏铣齿槽两侧时切去的余量应相等，如有偏差，则需校正。偏铣齿槽大、小端两侧余量的校正方法见表7-47。

表7-47　偏铣齿槽大、小端两侧余量的校正方法

现　　象	校　正　方　法
小端尺寸已准而大端还有余量	适当增大回转量N（或水平偏角β）和偏移量S，使大端齿厚铣去一些，小端不再被铣去
大端尺寸已准而小端还有余量	适当减小回转量N（或水平偏角β），偏移量S应多减小些，使小端齿厚铣去一些，而大端不再被铣去
大端、小端尺寸均有余量且相等	只需减小偏称量S，使大端、小端都铣去一些
小端尺寸已准而大端尺寸太小	适当减小回转量N（或水平偏角β）和偏移量S，使小端不再被铣去，而大端比原来少铣去一些
大端尺寸已准而小端尺寸太小	适当增大回转量N（或水平偏角β）和偏移量S，使小端比原来少铣去一些

2）由于直齿锥齿轮的轮齿是由齿轮的大端向小端逐渐收缩，故直齿锥齿轮大、小端的直径不相等，大、小端的基圆直径也不等，而渐开线的形状取决于基圆直径的大小。标准直齿锥齿轮铣刀的齿形是按大端齿形设计制造的，大端的基圆直径大、渐开线齿形比较平直，而小端的齿形就较弯曲，因而铣削后直齿锥齿轮的小端齿形有些余量未被切除（见图7-227中 B 处），从而影响齿轮的啮合质量。如用修锉切除，则比较费时，一般可在铣削时适当减小偏移量 S，使小端多铣去一些来减薄小端齿厚，以利于啮合。

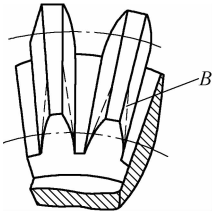


图7-227 直齿锥齿轮小端余量未被切除

3）在铣削过程中，偏铣齿槽调整回转量 N 时，若出现分度手柄多转一孔则齿厚较薄、而少转一孔齿厚又太厚时，可松开分度盘侧面的紧固螺钉，使分度盘作微量转动。而不宜采用横向移动工作台进行单边铣削来使齿厚减薄，这样会使齿形的对称性变差。

（7）直齿锥齿轮的测量 在铣床上用盘形铣刀铣削直齿锥齿轮时，一般只需测量直齿锥齿轮背锥上齿轮大端的分度圆弦齿厚。直齿锥齿轮分度圆弦齿厚 $\bar{s}$（mm）和弦齿高 h_a（mm）的计算公式如下：

$$\bar{s} = mz_{当} \sin \frac{90°}{z_{当}}$$

$$\bar{h}_a = m\left[1 + \frac{z_{当}}{2}\left(1 - \cos \frac{90°}{z_{当}}\right)\right]$$

式中 $z_{当}$——锥齿轮的当量齿数；

m——锥齿轮的模数（mm）。

若直齿锥齿轮的使用要求较高，则齿轮的小端也要测量。测量时，只需将齿轮小端的模数 m 值代入上述分度圆弦齿厚（$\bar{s}$）、弦齿高（h_a）的计算公式即可。

（8）铣削直齿锥齿轮时常见的质量问题及其原因 铣削直齿锥齿轮时常见的质量问题及其原因见表7-48。

表7-48 铣削直齿锥齿轮时常见的质量问题及其原因

质量问题	造成质量问题的原因
齿形和齿厚误差超差	1）铣刀刃磨不好 2）铣刀号数选择错误 3）铣刀安装不好 4）操作时偏移量和回转量控制不好 5）机床导轨平行度差
齿距误差超差	1）齿坯装夹不好 2）分度不准确 3）分度头传动机构精度差
齿向误差超差	1）操作时对刀不准确 2）铣大端两侧时，偏移量不相等 3）齿坯基准端面与轴线垂直度不好 4）装夹齿坯时，轴线与心轴轴线交叉
齿圈径向跳动超差	1）齿坯装夹误差大 2）齿坯外径与内孔同轴度差 3）分度头主轴轴线与旋转轴线不重合
齿面产生波纹和表面粗糙度值较大	1）铣削用量过大 2）铣刀变钝 3）刀轴弯曲 4）机床导轨镶条太松 5）机床主轴的轴向窜动量过大 6）机床主轴和刀轴径向跳动量过大 7）铣削时分度头主轴未紧固 8）工件热处理不好

7.3.12 蜗杆、蜗轮的铣削

1. 蜗杆的铣削

大模数蜗杆或多头蜗杆常在铣床上加工，其优点是有较高的生产率。但是，由于螺旋面铣削时的干涉问题，使得铣削的蜗杆齿形误差大。因此，铣削加工蜗杆只适用于精度要求不

高的蜗杆，或作为粗加工，留有一定的余量供精车或磨削加工。

（1）在卧式万能铣床上用盘形铣刀铣蜗杆 蜗杆实质上就是具特殊截面形状的外螺纹，因此，用盘形铣刀铣蜗杆与用盘形铣刀铣圆柱螺旋槽的方法基本相同。需要注意的主要问题如下：

1）铣刀的选择与修磨。一般在生产中都采用8号圆柱齿轮铣刀。但由于铣刀的廓形与蜗杆的法向截面形状不一致，以及铣螺旋面时的干涉现象，所以铣出的蜗杆精度不高。此外，由于铣削时铣刀的旋转平面与蜗杆齿槽方向一致，故严格来说，铣刀的模数和压力角应与蜗杆法向截面的模数 m_n 及压力角 α_n 相同，即

$$m_n = m\cos\beta$$

$$\tan\alpha_n = \tan\alpha\cos\beta$$

式中 m_n——蜗杆法向模数（mm）；

m——蜗杆轴向模数（mm）；

β——蜗杆分度圆柱螺旋角（°）；

α_n——蜗杆法向压力角（°）；

α——蜗杆轴向压力角（°）；

当蜗杆螺旋角 β 不大时，m_n 与 m 及 α_n 与 α 的数值接近，直接用蜗杆的轴向模数 m 和压力角 α 选择铣刀。但当铣削大螺旋角蜗杆、多头蜗杆时，即 m_n 与 m 及 α_n 与 α 相差较大时，则按蜗杆的法向模数 m_n 和法向压力角 α_n 对标准圆柱齿轮铣刀进行修磨，以保证蜗杆的齿厚和压力角符合图样要求。

2）铣刀的安装。由于蜗杆的螺旋角较大，而万能卧式铣床工作台在水平面内只能旋转±45°，无法使铣刀的旋转平面与蜗杆齿槽一致。故铣削蜗杆时，必须使用横向刀架（见图7-228），扳转工作台使铣刀的旋转平面与铣床横向工作台的进给方向平行。

3）交换齿轮的计算与配置。当蜗杆的导程较小时（P_h < 16mm），可根据导程 P_h（$P_h = \pi z_1 m$）采用小导程工件的主轴交换齿轮法（见图7-162），进行交换齿轮的计算与配置。但由于导程 P_h 中包含了一个无理数"π"，而一般分度头只配有12只五倍数的交换齿轮，很难保证被加工蜗杆导程的准确性。

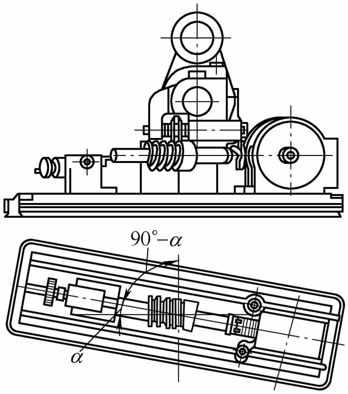


图7-228 使用横向刀架铣削蜗杆

实际生产中，为简化计算，常根据蜗杆的头数 z_1 与模数 m 的乘积值，从表7-49中选取挂轮。必要时，还需准备一些特殊齿数的交换齿轮。

在铣削多头蜗杆时，每铣好一条螺旋槽后，需将工件转过 $1/z_1$ 转。当采用主轴交换齿轮法铣削小导程蜗杆时，为便于分度，可令分度头主轴上的交换齿轮齿数为蜗杆头数的倍数。

4）工作台扳转角度与方向的调整。铣削前，应将纵向工作台扳转一个角度，其角度大小为蜗杆分度圆柱的螺旋角 β（见图7-228中的 $\alpha=\beta$）。铣削右旋蜗杆时，铣床工作台应顺时针旋转（见图7-228）；铣削左旋蜗时，工作台则应逆时针旋转。

5）蜗杆的粗铣与精铣。铣削蜗杆虽然是作为精车或磨削前的粗加工，但仍应保证齿面余量均匀、齿厚和齿距误差不能太大，以免精加工时无法修正。此时，可考虑先粗铣切去大部分余量，使齿距基本正确、齿厚余量均匀，精铣后，齿面上每面留有0.5～0.6mm余量，表面粗糙度值达到 $Ra3.2\mu m$，为蜗杆最后的精加工做好准备。

（2）在立式铣床上用指形齿轮铣刀铣蜗杆。在立式铣床（或卧式铣床）上用指形齿轮铣刀铣削蜗杆，铣刀的形状和铣齿条的指形齿轮铣刀相似，只是在刀具节线处的直径要小于蜗杆的齿槽宽度1～3mm。因为指形齿轮铣刀铣削蜗杆，一次进刀难以获得较小的表面粗糙度值，因此，应先把齿槽深度铣到尺寸，然后再精铣两侧，以获得较小的表面粗糙度值。

表 7-49 铣蜗杆的挂轮选取表

z_1 m 值	挂轮 z_1	z_2	z_3	z_4	导程误差 ΔL/mm	z_1 m 值	挂轮 z_1	z_2	z_3	z_4	导程误差 ΔL/mm
1	80	58	90	65	0.0001	18	97	20	70	80	0.0051
1.5	80	58	60	65	0.0001	20	35	20	80	89	0.0010
2	90	58	40	65	0.0002	21	97	80	75	25	0.0058
2.5	25	40	55	45	0.0006	24	95	20	65	97	0.0026
3	80	58	30	65	0.0002	25	100	60	55	30	0.0080
3.5	30	—	—	55	0.0041	27	70	80	97	30	0.0076
4	30	58	60	65	0.0003	28	85	45	65	45	0.0008
4.5	50	85	70	97	0.0029	30	95	25	65	97	0.0032
5	25	80	55	45	0.0013	32	85	89	75	30	0.0109
6	20	58	60	65	0.0003	36	95	30	65	97	0.0039
7	30	50	25	55	0.0085	40	80	58	90	65	0.0017
7.5	25	60	55	90	0.0017	42	97	80	60	40	0.0117
8	85	80	20	89	0.0033	48	100	65	60	58	0.0034
9	40	58	20	65	0.0007	56	85	90	65	45	0.0016
10	25	80	55	90	0.0020	60	80	58	60	65	0.0044
10.5	25	85	60	97	0.0067	64	75	65	60	58	0.0048
12	20	58	30	65	0.0009	72	95	60	65	97	0.0078
13.5	90	35	55	25	0.0127	75	55	45	50	60	0.0017
14	97	40	45	20	0.0040	80	90	58	40	65	0.0060
15	100	25	70	55	0.0190	90	40	58	80	65	0.0066
16	90	35	65	35	0.0081	100	25	40	55	45	0.0023

此外，若用小直径的指形齿轮铣刀在铣削时偏移一个适当的位置，还能够铣出轴向直廓齿形的蜗杆。用指形齿轮铣刀铣削蜗杆时，纵向工作台不需要扳转角度，铣刀应处于对中位置切削。

指形齿轮铣刀的强度和刚度较差，故不宜用来铣削模数 m 小于 3mm 的蜗杆。

(3) 蜗杆铣削常见的质量问题及其原因

蜗杆铣削常见的质量问题及其原因见表 7-50。

2. 蜗轮的铣削

在铣床上铣削蜗轮时，所用的刀具应根据蜗轮的精度、数量及工艺装备的情况而定。一般可采用齿轮铣刀、飞刀或蜗轮滚刀等。

(1) 用盘形铣刀铣削蜗轮

1) 刀具的选择。

① 由于盘形铣刀是沿蜗轮齿槽方向切削的，因此铣刀的模数 m 和压力角 α_o 应与蜗轮的模数和压力角相同，即

$$m_o = m_t\cos\beta$$

式中 m_o——铣刀模数（mm）；

m_t——蜗轮端面模数（mm）；

β——蜗轮螺旋角（°）。

$$\tan\alpha_o = \tan\alpha_t\cos\beta$$

式中 α_o——铣刀的压力角（°）；

α_t——蜗轮端面压力角（°）。

表 7-50 蜗杆铣削常见的质量问题及其原因

质量问题	产生原因
齿面表面粗糙度值较大	1) 铣削用量太大 2) 刀具磨钝 3) 工艺系统刚性不好
齿形误差超差	1) 铣刀截面形状不正确，如用 8 号齿轮盘铣刀加工阿基米德蜗杆，其轴向齿形不是直线 2) 铣削时干涉现象太严重 3) 工作台扳转角度不准 4) 对刀不正确
齿厚不对	1) 铣削吃刀量调整不对 2) 工件径向跳动太大 3) 导程计算误差太大或交换齿轮不正确
齿面碰伤	退刀时未降下工作台

通常，由于蜗轮的螺旋角 β 值很小，故端面模数与法向模数、端面压力角与法向压力角非常接近，因此一般采用标准模数和标准压力角的盘形铣刀。

② 铣刀的号数应根据蜗轮的当量齿数来选择，其计算公式为

$$z_{当}=\frac{z_2}{\cos^3\beta}$$

式中　$z_{当}$——蜗轮的当量齿数；

z_2——蜗轮的实际齿数；

β——蜗轮的螺旋角（°）。

③ 盘形铣刀的外径 D_o 应比蜗杆的外径大 0.4 个模数，以保证蜗杆与蜗轮啮合时，有必要的径向间隙，即

$$D_o=d_{a1}+0.4m=m\ (q+2.4)$$

式中　D_o——铣刀外径尺寸（mm）；

d_{a1}——蜗杆齿顶圆直径（mm）；

m——蜗轮模数（mm）；

q——蜗杆直径系数。

蜗杆的直径系数 $q=\dfrac{d_1}{m}$［d_1——蜗杆分度圆直径（mm）］，q 值可由表 7-51 中查出。

表 7-51　蜗杆的直径系数 q 值

m	1	1.5	2	2.5	3	(3.5)	4	(4.5)	5	6
q	14	14	13	12	12	12	11	11	10 (12)	9 (11)

m	(7)	8	(9)	10	12	14	16	18	20	25	(30)
q	9 (11)	8 (11)	8 (11)	8 (11)	8 (11)	9	9	8	8	8	8

注：括号中的数值尽可能不采用（当用蜗轮滚刀时）。

由于盘形铣刀是标准化的，因而只要铣刀外径 D_o 等于或大于计算值即可，否则会影响蜗轮副安装的中心距。

2）齿坯的装夹与校正（见图 7-229）。蜗轮齿坯的装夹方法与圆柱齿轮相同。但由于蜗轮齿坯的母线是圆弧，因此应先找正齿坯的端面跳动量，再找正径向跳动量。否则端面跳动量的误差会影响径向跳动量的找正。

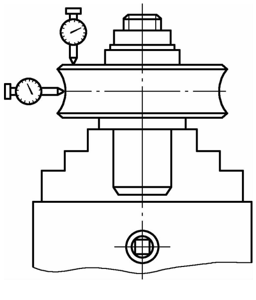


图 7-229　齿坯的装夹与校正

3）工作台扳转的角度与方向（见图 7-230）。铣削右旋蜗轮时，工作台逆时针扳转 β 角；铣削左旋蜗轮时，工作台顺时针扳转 β 角（见图 7-230）。

4）铣刀的对中（见图 7-231）。铣削蜗轮时，要使铣刀轴线落在齿坯的对称平面内（见图 7-231a），并且铣刀齿形的对称平面要通过齿坯的轴线（见图 7-231b）。

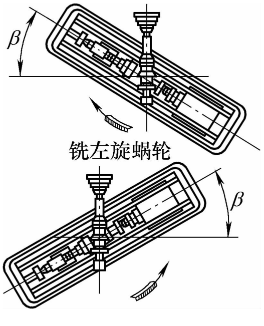


图 7-230　工作台扳转的角度与方向

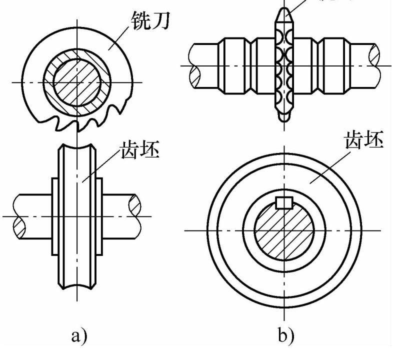


图 7-231　铣刀的对中

a）铣刀轴线落在齿坯的对称平面内

b）铣刀齿形的对称平面通过齿坯的轴线

5）铣削方法。铣削蜗轮是用手动径向进

给方式进行的。开始铣削时，铣刀先由两夹角处开始切削，到铣刀刚切着凹圆弧的最低点时，作为吃刀量的起点，然后逐渐吃刀至齿厚符合图样要求为止。分度按同样方法依次加工其余各齿。

用盘形铣刀铣出的蜗轮精度较差，其原因是：

① 铣刀直径与理论计算值不一致。

② 铣出的齿形是渐开线齿形，不是蜗杆与蜗轮的展开齿形。

③ 由于铣削时工件不转动，铣出的齿槽不是螺旋槽，而是斜直槽。因此，这种蜗轮只能用于要求很低、配偶蜗杆的头数 z_1 小于或等于 2 的场合。

（2）用蜗轮滚刀精铣蜗轮 在卧式万能铣床上用蜗轮滚刀精铣蜗轮（见图 7-232），是在用盘形齿轮铣刀粗铣蜗轮的基础上，提高蜗轮精度一种较简便的方法。特别是在蜗轮的螺旋角较大时，能够获得较高的精度。其加工过程如下：

1）粗铣。用盘形铣刀粗铣，留有适当的精铣余量。

2）滚刀的选用与安装。最好选用专用的蜗轮滚刀。如果没有合适的蜗轮滚刀，也可用同模数的齿轮滚刀代替，但齿轮滚刀的直径应大于配偶蜗杆直径 0.4m（m 为蜗杆模数）。安装齿轮滚刀，需在刀轴与滚刀之间采用平键连接，以防止滚刀在切削时产生角位移。

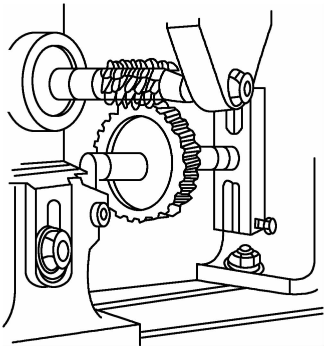


图 7-232 用蜗轮滚刀精铣蜗轮

3）工件的安装。工件是用心轴装夹在分度头和尾座之间。由于滚刀铣削蜗轮是一种啮合对滚的过程，因此装夹时，把蜗轮心轴上的鸡心夹头取下，使蜗轮能在两顶尖间自由转动。

4）工作台扳转的角度与旋向。如使用专用的蜗轮滚刀精铣蜗轮，则工作台不需要扳转角度；如使用齿轮滚刀加工蜗轮，则要根据被加工蜗轮的螺旋角 β 和滚刀的螺旋升角 γ_o 的大小和方向的情况，使工作台扳转一个 θ 角，以保证滚刀刀齿能准确地嵌入蜗轮的齿槽。θ 角可按下式计算：

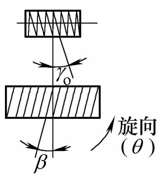
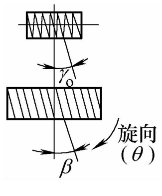
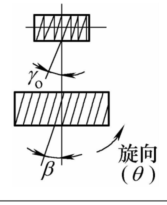
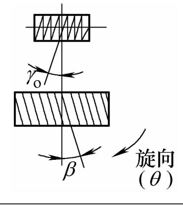
$$\theta = \beta \pm \gamma_o$$

式中 β——蜗轮螺旋角（°）；

γ_o——滚刀的螺旋升角（°）。

当滚刀与蜗轮的螺旋方向相同时，上式取“-”号，反之取“+”号。用滚刀精切蜗轮时工作台的转向见表 7-52。

表 7-52 用滚刀精切蜗轮时工作台的转向

加工情况				
说明	1）$\beta > \gamma_o$ 时：$\theta = \beta - \gamma_o$，逆时针转 2）$\beta = \gamma_o$ 时：工作台不转 3）$\beta < \gamma_o$ 时：说明滚刀直径小于蜗杆直径，不宜采用	$\theta = \beta + \gamma_o$，顺时针转	$\theta = \beta + \gamma_o$，逆时针转	1）$\beta > \gamma_o$ 时：$\theta = \beta - \gamma_o$，顺时针转 2）$\beta = \gamma_o$ 时：工作台不转 3）$\beta < \gamma_o$ 时：说明滚刀直径小于蜗杆直径，不宜采用

5）铣削时的操作调整。精铣蜗轮时，先缓慢升高工作台，使滚刀和已粗铣的蜗轮啮合，然后开动机床使滚刀旋转，此时蜗轮也随之一起转动。再以手动进给逐渐升高工作台，使蜗轮齿形在啮合过程中逐渐被修正，直到蜗轮齿厚达到图样要求为止。

（3）用飞刀展成铣削蜗轮　当加工数量较少的蜗轮时，制造专用的蜗轮滚刀是不经济的，此时常用飞刀来加工（见图7-233）。飞刀就是在刀杆上装一把刀头来代替蜗轮滚刀，可以看作是蜗轮滚刀的一个刀齿。在万能铣床上用飞刀加工蜗轮，常用的有以下两种方法。

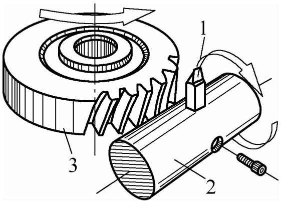


图7-233　飞刀加工蜗轮

1—飞刀头　2—刀杆　3—蜗轮

1）断续分齿连续展成飞刀法（见图7-234）。飞刀是安装在万能铣头的主轴上，而齿坯是装夹在分度头主轴的自定心卡盘上，飞刀作旋转运动进行切削。为了获得连续的展成运动，必须将工作台纵向丝杠与分度头侧轴之间用交换齿轮连接起来，使工作台纵向相对于飞刀完成切向进给运动的同时，齿坯能完成相应的转动。在飞刀转动与齿坯转动之间，由于没有固定的运动联系，因此不能进行连续分齿，要在展成切出一个齿后，停止切削，将刀头转向上方，工作台退回原位，用手摇动分度手柄，分过一齿后，再铣削下一个齿。

①　交换齿轮的计算与安装。根据展成原理，工作台纵向移动一个蜗轮齿距，分度头应旋转 $1/z_2$ 转，分度头挂轮计算如下：

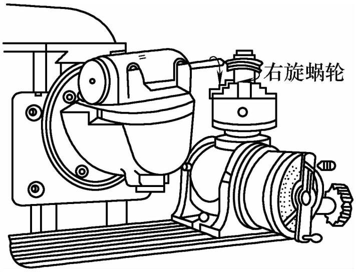


图7-234　断续分齿连续展成飞刀法

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}=\frac{40P_{丝}}{\pi m z}$$

式中　z_1、z_3——交换齿轮的主动轮；

z_2、z_4——交换齿轮的从动轮；

40——分度头定数；

$P_{丝}$——纵向工作台丝杠螺距（mm）；

m——蜗轮端面模数；

z——蜗轮齿数。

交换齿轮选好后，还要注意选择中间轮的数目，以保证齿坯的旋转方向正确，此外，还要注意工作台的运动方向及自身的位置。齿坯旋转方向及中间轮位置见表7-53。交换齿轮的安装位置见图7-235。

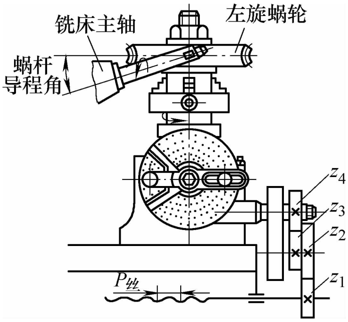


图7-235　交换齿轮的安装位置

②　铣头的扳转方向。为了使飞刀沿齿槽方向铣削，万能铣头必须扳转一个蜗轮的螺旋角。铣头的扳转方向见表7-54。

表7-53　齿坯旋转方向及中间轮装置

工件位置	工作台运动方向	工件旋转方向	交换齿轮对数	
			两　对	三　对
	右旋蜗轮和左旋蜗轮一致			
在刀具里面	←	逆时针	不加中间轮	加一个中间轮
在刀具外面	←	顺时针	加一个中间轮	不加中间轮

注：分度头中心高125mm、135mm。

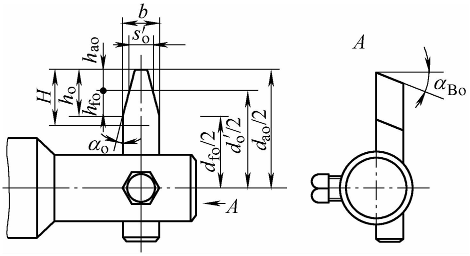
表 7-54 铣头的扳转方向

工件位置	铣头的扳转方向	
	右旋蜗轮	左旋蜗轮
在刀具里面	顺时针	逆时针
在刀具外面	逆时针	顺时针

③ 飞刀的尺寸计算及安装。铣齿时，由于刀头是在齿槽法面进行切削的，故刀头的齿形相当于配偶蜗杆法向截面的齿形，仅齿高增大 0.2m（m 为蜗杆模数）。飞刀各部分尺寸的计算公式表见表 7-55。

④ 在立式铣床上也可以进行断续分齿飞刀铣蜗轮，此时铣床主轴应扳动（90° − β）角的大小。由于飞刀的旋转运动与齿坯的转动之间没有联系，故用断续分齿法加工出蜗轮的齿槽不是螺旋槽而是斜直槽。当螺旋角较大时，啮合性能较差。此外，刀杆轴线与蜗杆实际啮合轴线有一个夹角 β，故刀头旋转轨迹与配偶蜗杆齿形运动轨迹不重合，铣出的蜗轮齿顶圆弧各处的齿高不等。若配偶蜗杆是阿基米德蜗杆时，其法向截面齿形是外凸曲线，而飞刀头又是沿蜗轮的法向截面上切削的，因而产

表 7-55 飞刀各部分尺寸的计算公式表



各部名称	计算公式	备 注
飞刀计算直径	$d'_o = \dfrac{d_1}{\cos\beta} + am$	d_1—蜗杆分度圆直径 β—螺旋角 当 $\beta = 3° \sim 20°$时，取 $a = 0.1 \sim 0.3$
齿顶高	$h_{ao} = h^*_{a2} m + cm + 0.1m$	h^*_{a2}—蜗轮齿顶高系数 cm—标准径向间隙 $0.1m$—刃磨量
齿根高	$h_{fo} = h^*_{a2} m + cm$	
全齿高	$h_o = h_{ao} + h_{fo}$	
铣刀中径齿厚	$s'_o = \dfrac{\pi m}{2}\cos\beta$	
铣刀外径	$d_{ao} = d'_o + 2h_{fo}$	
铣刀顶刃后角	$\alpha_{Bo} = 10° \sim 12°$	
侧刃法向后角	$\alpha_{B10} = 3° \sim 5°$	
刀齿顶刃圆角半径	$r = 0.2m$	
铣刀宽度	$b = s'_o + 2h_{fo}\tan a_n + 2y$	$2y = 0.5 \sim 0.2$mm（此值是加宽量）
刀齿深度	$H = \dfrac{d_{ao} - d_{fo}}{2} + N$	$N = \dfrac{\pi d_{ao}}{z_2}\tan a_{B0}$
齿形角	$\alpha_o = \alpha_n - \dfrac{\sin^3\beta \times 90°}{z_1}$	z_1—蜗杆头数，当 $\beta \leqslant 20°$时，取 $\alpha_o = \alpha_n$

生的齿形误差较大。但是这种加工方法不需配置特殊的附件，机床调整也较方便，适宜于加工数量少、螺旋角较小且精度要求不高的蜗轮。

2）连续分齿断续展成飞刀法。这一加工方法的原理是依据在滚齿机上用蜗轮滚刀加工蜗轮的方法，即当滚刀旋转一周时（相当于蜗杆轴向移动一个齿距），蜗轮相应地转过一个齿距，从而实现连续分齿展成切削。在卧式铣床上采用连续分齿断续展成飞刀法加工蜗轮，其加工精度比断续分齿展成法好，生产率也较高，但需要改装机床。

① 卧式铣床的改装（见图7-236）。飞刀杆固定在主轴孔内的滑键轴（最好是外花键）上，套有主动链轮，其一端通过螺纹与滑键轴连接，另一端则用挂架上的顶尖顶住（见图7-237）。安装分度头时，必须在水平面内转过90°再紧固在工作台上，使侧轴沿工作台横向与铣床主轴平行，分度头主轴应和工作台面垂直。从动链轮通过交换齿轮架和交换齿轮与分度头侧轴连接。起动机床后，通过链轮传动，就可将飞刀的旋转运动和齿坯的转动联系起来，从而实现飞刀铣削过程中的连续分齿运动。

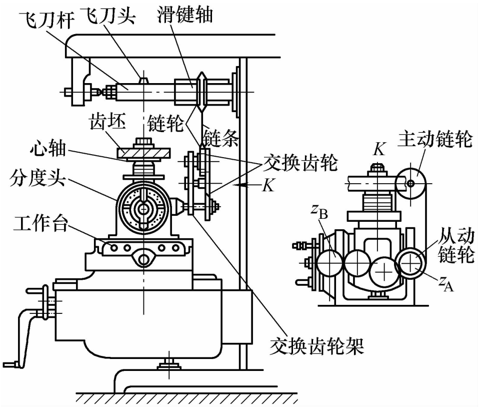


图7-236 卧式铣床的改装

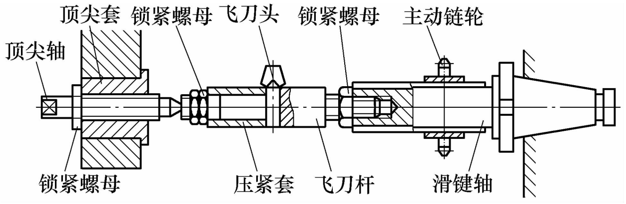


图7-237 飞刀杆的结构与安装

② 分齿交换齿轮的计算。根据飞刀转一转，被加工蜗轮应转 z_1/z_2 转的关系，从图7-236中可以列出以下计算式：

$$\frac{z_A}{z_B}=\frac{40z_1}{z_2}$$

式中 z_A——交换齿轮的主动轮齿数（z_A 与从动链轮装在同一根轴上，从动链轮与主动链轮齿数相同）；

z_B——交换齿轮的从动轮齿数（z_B 安装在分度头侧轴上）；

40——分度头定数；

z_1——蜗杆头数；

z_2——被加工蜗轮齿数。

中间齿轮的齿数可根据 z_A、z_B 两轮的啮合距离和被加工蜗轮的旋向来确定。一般地，加工右旋蜗轮要加两个中间齿轮，加工左旋蜗轮只需加一个中间齿轮。

③ 飞刀头的尺寸和安装。飞刀头的各部分尺寸基本上按表7-55计算，只是柄部为圆柱形。由图7-237可见，飞刀头是通过压紧套和锁紧螺母固定在飞刀杆上，其安装位置有两种：当加工蜗轮螺旋角 $\beta<7°$、且与蜗轮啮合的蜗杆是阿基米德螺旋面时，飞刀可采用轴向安装（见图7-238a、b），此时飞刀的前刀面和蜗杆的轴向截面重合，其侧刃是直线形，齿形角 α_o 应等于蜗杆压力角 α；但当蜗杆螺旋角 $\beta\geq7°$ 时，为了保证两侧刃的切削条件均衡，飞刀头则应采用法向安装（见图7-238c、d）。但是，由于阿基米德蜗杆的法向截面是曲线形，理论上飞刀的侧刃也应制成曲线形，但这会给飞刀的制造、刃磨都造成一定的困难。故在实际生产中，往往仍将飞刀齿形制成直线形，但此时飞刀的齿形角 α_o 应近似地取等于蜗杆的法向齿形角，即

$$\tan\alpha_o = \tan\alpha\cos\beta$$

式中 α_o——飞刀的齿形角（°）

α——蜗杆的轴向齿形角（°）；

β——蜗杆分度圆柱螺旋角（°）。

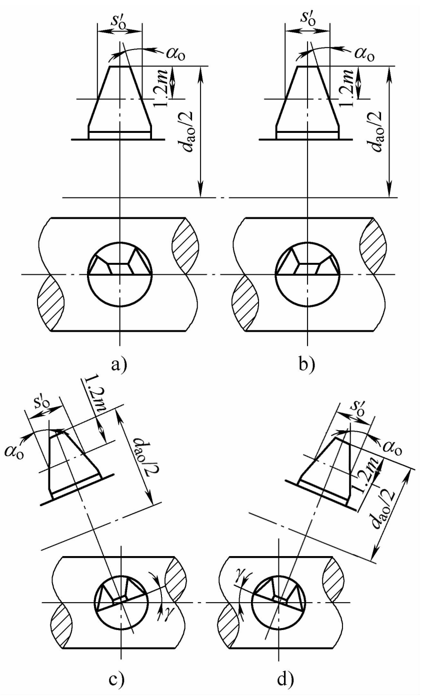


图 7-238 飞刀头的安装位置

a）加工右旋蜗轮的轴向安装飞刀 b）加工左旋蜗轮的轴向安装飞刀 c）加工右旋蜗轮的法向安装飞刀 d）加工左旋蜗轮的法向安装飞刀

若是被加工蜗轮与法向直廓蜗杆啮合传动的，则加工该蜗轮时，飞刀应当法向安装。这样不但使刀头两侧刃的切削条件比较平衡，而且飞刀的前刀面和蜗杆的法向截面接近重合，故刀头的侧刃可制成直线形，其齿形角 α_o 可近似地取等于蜗杆的压力角 α_n。

必须指出，飞刀轴向安装时，刀头中径齿厚 $s_o' = \frac{\pi m}{2}$；法向安装时，$s_o' = \frac{\pi m}{2}\cos\beta$。

④ 展成运动及其计算。要加工出蜗轮的整个齿形，除了分齿运动，还需要有展成运动。这种方法加工蜗轮的展成运动是不连续的，因为铣床横向工作台的进给丝杠与分度头没有固定的运动联系，故展成运动是用手动方法分段获得的。即飞刀每切工件一圈或数圈后，将机床停下，然后移动横向工作台，使轮坯相对飞刀轴向移动一小段距离 Δs；同时通过分度头使轮坯附加转动 $\Delta\theta$，$\Delta\theta$ 值可按下式计算：

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{P_x}\frac{360°}{z}$$

式中 Δs——齿坯相对飞刀轴向移动的距离（mm）；

P_x——蜗杆轴向齿距（mm）；

z——蜗轮的齿数。

然后再铣一圈或数圈，如此重复若干次，就可将蜗轮的齿形展成。齿坯附加转动的方向见图 7-239。

在手动的展成运动中，应保证飞刀相对齿坯轴向移动一个齿距的距离时，齿坯应转过一个齿的关系，然而每次移动的距离越小，则所需移动的次数越多，但是被加工蜗轮的精度也就越高，表面粗糙度值也较小。一般地，每次

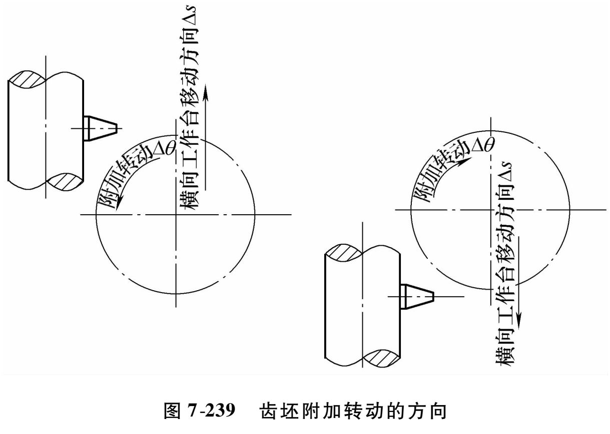


图 7-239 齿坯附加转动的方向

展成移动的距离 Δs 可取蜗杆轴向齿距 P_x 的 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{5}$。在卧式铣床上，轴向移动量 Δs 是由横向工作台手柄刻度来控制，而齿坯转过的角度 $\Delta\theta$ 则由分度盘孔数来控制。为了保证展成运动的精度，每次展成时，工作台横向手柄刻度和分度盘手柄转过的分度盘孔数应当尽量为整数，它们之间的关系为

$$\Delta s = \frac{\Delta n}{n} P_x$$

式中 Δs——每次展成移动的距离（mm）；

n——齿坯每转过一齿，分度手柄应转过的分度盘孔数；

Δn——每次展成时，分度手柄转过的分度盘孔数可取 $\Delta n = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}\right)n$，$\Delta n$ 的数值要保证每次展成移动距离 Δs 时，工作台横向手柄转过的刻度数接近整数。

P_x——蜗杆的轴向齿距（mm）。

⑤ 加工过程中应注意的事项。

a. 对刀。对刀前，先将交换齿轮的中间轮取下，使刀杆的旋转不会传动齿坯，用手转动刀杆，使飞刀刀尖能均匀地接触到蜗轮上的 A、B 两点即可（图 7-240）。

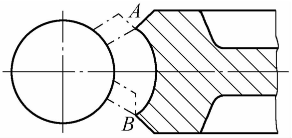


图 7-240 飞刀铣蜗轮的对刀

b. 分度头主轴转速不宜过高，一般限制在 80r/min 以内，以免分度头磨损严重而丧失精度。

c. 粗铣时，以手动进给使飞刀径向切入齿坯，切至在齿高方向留 1 ~ 1.5mm，作为展成精铣的加工余量。

d. 精铣时，先使飞刀径向进刀至全齿深，然后再从切向展成进刀。

e. 当加工与多头蜗杆啮合的蜗轮时，如蜗轮齿数 z_2 能被蜗杆齿数 z_1 除尽，则一次只能间隔加工出蜗轮齿数中的 z_2/z_1 个齿。对于加工剩余的齿槽，需用分度头依次分度，逐一铣出剩余的齿槽。

f. 对使用链传动改装的铣床，在加工过程中应注意滑键轴上链轮的轴向位置和链条的松紧程度，并及时进行调整，使其工作正常。

⑥ 连续分齿断续展成飞刀铣蜗轮常见的质量问题及其原因。连续分齿断续展成飞刀铣蜗轮常见的质量问题及其原因见表 7-56。

表 7-56 连续分齿断续展成飞刀铣蜗轮常见的质量问题及其原因

质量问题	产生原因
齿面表面粗糙度值较大	1）飞刀头已磨钝 2）铣削用量太大 3）工艺系统刚性不好
齿形误差超差	1）飞刀头刃磨不正确 2）飞刀头安装不正确 3）展成计算错误或操作不正确 4）对刀不正确
齿距误差超差	1）分度头主轴回转精度差 2）交换齿轮安装不好或计算错误 3）齿坯装夹不好
乱牙	1）展成计算错误 2）操作错误 3）交换齿轮安装不好或计算错误
齿厚不对	1）铣削吃刀量调整不对 2）铣刀厚度超差

7.3.13 链轮的铣削

链轮分为两类，一类是齿形链链轮，另一类是滚子链和套筒链链轮。

1. 齿形链链轮的齿形及铣削

（1）齿形链链轮的齿形 齿形链链轮的齿形见图 7-241。

（2）齿形链链轮的铣削 在批量生产中，齿形链链轮的槽形可用成形铣刀铣削，生产率高，加工质量好。在工件数量不多时，可用单角铣刀组合铣削或用三面刃铣刀来加工。

1）用两把单角铣刀组合铣削齿形链链轮（见图 7-242）。两把单角铣刀之间垫圈的厚度

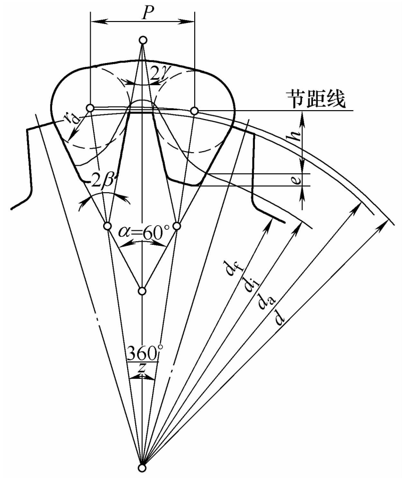


图 7-241 齿形链链轮的齿形

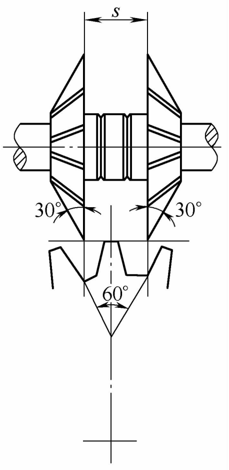


图 7-242 用两把单角铣刀组合铣削齿形链链轮

s 应为

$$s = 1.273P - 1.155$$

式中 P——链轮节距（mm）。

铣削完各齿后，需用窄的三面刃铣刀切去槽底的残留部分。

2）用三面刃铣刀铣削齿形链链轮（见图 7-243）。三面刃铣刀的宽度 B 不应大于槽底宽度。铣削时，先将铣刀像铣键槽一样对刀，然后把工作台横向偏移一个距离 s，并上升一个高度 H。s、H 按下式计算：

$$s = \frac{d_f}{2}\sin\theta + \frac{B}{2}$$

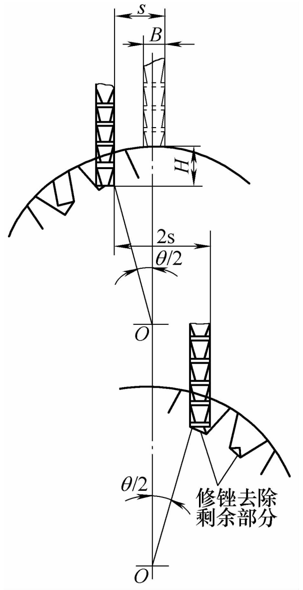


图 7-243 用三面刃铣刀铣削齿形链链轮

$$H = \frac{d_a}{2} - \frac{d_f}{2}\cos\theta$$

式中 d_f——齿根圆直径（mm）；

B——铣刀宽度（mm）；

d_a——齿顶圆直径（mm）；

θ——齿槽角（°）。

铣削完各个齿的一侧后，把工件回转 θ 角度，工作台在横向方向反向移动 $2s$ 的距离，铣削齿的另一侧。齿的两侧加工完毕后，再用原来的铣刀切去槽底的剩余部分。

2. 滚子链和套筒链链轮的齿形及铣削

（1）滚子链和套筒链链轮的齿形 滚子链和套筒链链轮的齿形见图 7-244。

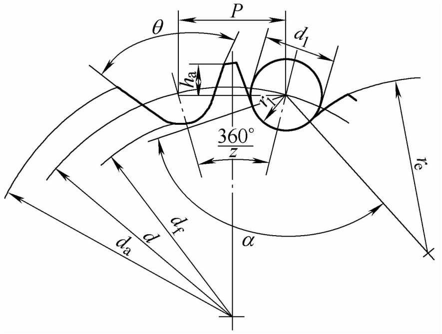


图 7-244 滚子链和套筒链链轮的齿形

齿形主要由齿面圆弧 r_e 和齿沟圆弧 r_1 组成。

（2）滚子链链轮的铣削　当链轮精度要求较高、工件数量较多时，常采用专用的链轮铣刀加工。铣削滚子直径、节距相同的链轮时，根据其齿数的不同，所用铣刀分为5个号数（见表7-57）。其铣削方法和铣削直齿圆柱齿轮的方法基本相同。

表7-57　滚子链链轮铣刀号数表

铣刀的号数	1	2	3	4	5
铣齿范围	7~8	9~11	12~17	18~35	35以上

1）圆弧形齿面链轮的铣削。在单件、小批量生产时，若没有专用铣刀且链轮节距 P 较大时，可用立铣刀按展成法加工圆弧形齿面的链轮。其工作原理与断续分齿连续展成飞刀法铣蜗轮相似（见图7-234、7-235及相关说明），即把立铣刀看作相当于与链轮啮合传动的链条滚子，当铣刀直线移动一个链轮周节时，链轮坯相应地转过一个齿（见图7-245）。为实现这一展成运动，需将链轮坯装夹在分度头或回转台上，用交换齿轮将铣床工作台纵向丝杠与分度头（或回转台）连接起来，其工作过程如下：

① 铣刀的选择。一般选用大螺旋槽立铣刀，铣刀直径应按链轮齿沟圆弧的直径尺寸选择，即

$$d_0 = 1.005d_1 + 0.10$$

式中　d_1——滚子直径（mm）；

d_0——铣刀直径（mm）。

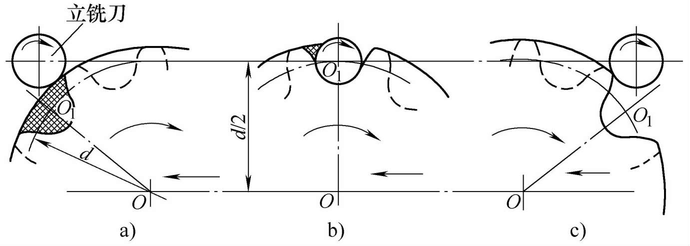


图7-245　立铣刀展成铣削滚子链轮示意图

a）铣刀开始切入　b）铣至齿槽中部　c）铣刀退出工件

② 工件装夹。工件装在心轴上用分度头装夹，或装夹在回转工作台上。

③ 交换齿轮的配置。交换齿轮按下式计算

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{KP_{丝}\ x}{\pi d}$$

式中　K——分度头定数（40）或回转工作台定数；

$P_{丝}$——铣床工作台纵向丝杠的螺距（一般为6mm）；

d——链轮的分度圆直径（mm）；

x——修正系数。

采用修正系数 x，是为了把链轮齿顶部分略微多铣去一些，使展成铣出的齿形接近标准的链轮齿形，从而使链轮滚子能平稳地进入和退出。修正系数 x 的值与链轮的齿数有关：当 $z \leqslant 12$ 时，$x = 1.05$；当 $z = 14 \sim 16$ 时，$x = 1.04$；当 $z \geqslant 17$ 时，$x = 1.03$。

④ 铣削过程。铣削前，应保证刀具与工件轴线间距离 $d/2$（横向方向）；铣削时，先使铣刀在纵向处于工件的外边，可用擦痕法根据齿坯外圆的实际尺寸控制吃刀量。一齿铣好后，工作台返回到原处，进行分度后铣削第二齿，直至全部齿槽铣削完毕。

必须注意：若用分度头装夹，当受到机床纵向行程限制时，则在分度头侧轴上要装接长杆；若在回转工作台上加工，则在工件下面增加一块专用分度盘，进行直接分度。

2）直线端面齿形滚子链链轮的铣削。在传动要求不高，单件生产、修配或无标准链轮刀具时，当齿数大于20时，常采用直线端面齿形（见图7-246）。铣削这种齿形时，不需要展成运动，可用凸半圆铣刀和立铣刀就能完成加工，因此在铣床上加工的滚子链链轮，常

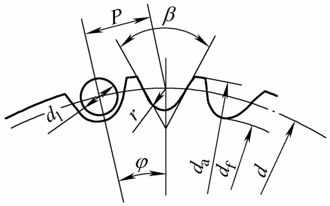


图 7-246 直线端面齿形滚子链链轮

见的就是这种齿形。其铣削方法如下：

① 链轮齿沟圆弧的铣削。

a. 在卧式铣床上，用凸半圆铣刀铣削链轮齿沟圆弧（见图 2－247a）。

b. 在立式铣床上，用立铣刀铣削链轮齿沟圆弧（见图 7-247b）。

铣刀直径和铣削深度可用下式计算：

$$d_0 = 1.005d_1 + 0.10$$

$$H = \frac{d_a - d_f}{2}$$

式中 d_0——立铣刀直径或 R 盘铣刀宽度（mm）；

H——铣削深度（mm）；

d_1——滚子直径（mm）；

d_a——齿顶圆直径（mm）；

d_f——齿根圆直径（mm）。

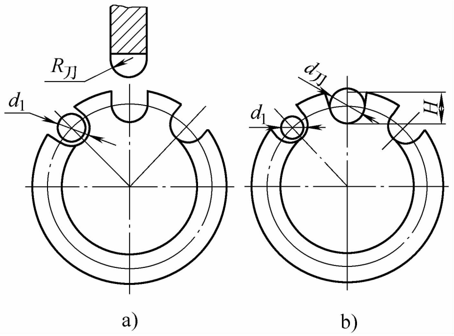


图 7-247 直线端面齿形滚子链链轮齿沟圆弧的铣削

a）用凸半圆铣刀铣削链轮齿沟圆弧

b）用立铣刀铣削链轮齿沟圆弧

② 链轮齿槽两侧面的铣削。

a. 在卧式铣床上用三面刃铣削齿槽两侧。在用凸半圆铣刀铣削齿沟圆弧后，用宽度 B 小于滚子直径 d_1 的三面刃铣刀铣削齿槽的两侧（见图 7-248）。先校准已铣好的齿沟圆弧工件的一条槽，使其处于居中位置，并把三面刃铣刀的一侧对准工件中心，然后按齿槽角 θ 把工件偏转一个 $\theta/2$ 角，工作台横向移动 s 距离，工作上升距离 H 随齿数的变化而变化，一般目测铣至与齿沟圆弧相切。s（mm）值按下式计算：

当 $\theta = 58°$时：$s = 0.242d - 0.5d_1$

$\theta = 60°$时：$s = 0.25d - 0.5d_1$

$\theta = 62°$时：$s = 0.258d - 0.5d_1$

式中 d——链轮分度圆直径（mm）；

d_1——滚子直径（mm）。

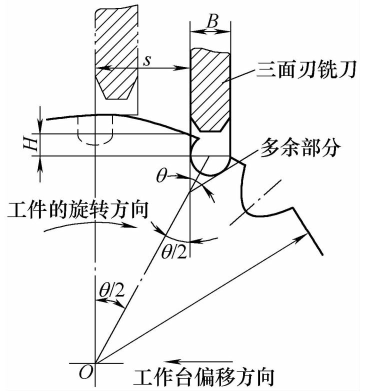


图 7-248 用三面刃铣刀铣削齿槽的两侧

铣削齿槽另一侧时，工作台高度不变，分度头反向回转 θ 角，横向工作台反向移动 $2s + B$ 的距离即可。

b. 在立式铣床上用立铣刀铣削键槽两侧。用立铣刀铣削完各齿的齿沟圆弧以后，可用原来的铣刀铣削齿槽的两侧，退出铣刀，把工件转过 $\theta/2$，并将工作台移动一个距离 s（见图 7-249a），铣去齿的一侧余量。移动量 s 可按下式计算

$$s = \frac{d}{2}\sin\frac{\theta}{2}$$

式中 d——链轮分度圆直径（mm）；

θ——链轮齿槽角（°）。

铣削完齿槽的一侧后，把工件反转 θ 角度，工作台反向移动 $2s$ 距离，铣削齿槽的另一侧。

③ 用立铣刀分两次进刀，同时铣出链轮的沟槽圆弧和齿槽两侧。先使立铣刀中心对准轮坯中心，然后工作台横向移动一个距离 s，纵向移动一个距离 L（见图 7-250a），此处坐

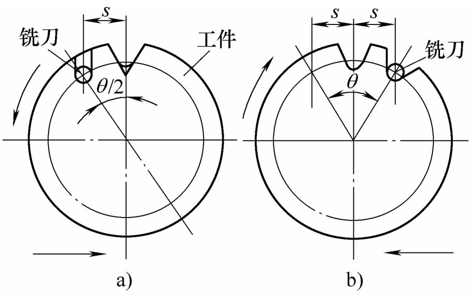


图 7-249 用立铣刀铣削齿槽的两侧

a）铣削一侧 b）铣削另一侧

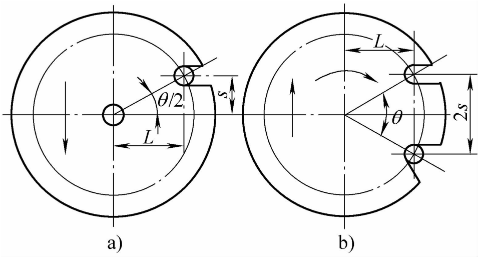


图 7-250 用立铣刀两次进给铣削链轮齿槽

a）铣齿槽的一侧面 b）铣齿槽的另一侧面

标即是链轮齿沟底部圆弧。这时，齿槽的一个侧面与工作台纵向进给方向平行。必须指出，应当记住纵向工作台刻度并作好记号，然后纵向移动工作台，使轮坯退离铣刀。升高工作台后作纵向进给，铣至链轮槽底，然后分度依次铣完同一侧面。工作台横向移动距离 s 和工作台纵向移动距离 L 按下式计算：

$$s=\frac{d}{2}\sin\frac{\theta}{2}$$

$$L=\frac{d}{2}\cos\frac{\theta}{2}$$

式中 d——链轮分度圆直径（mm）；

θ——链轮齿槽角（°）。

铣完一侧后，将工作转过 θ 角，工作台横向移动 $2s$ 距离（见图 7-250b），使另一侧面与工作台纵向进给方向平行，然后依次铣完另一侧。

3. 链轮的测量

链轮的测量主要是检测齿根圆直径和节距 P，其测量方法有直接测量法和间接测量法。分述如下：

（1）滚子链齿根圆直径的检测

1）直接测量法（见图 7-251a）。对于一般精度要求的链轮，可用游标卡尺直接测量齿根圆直径 d_f；对于精度要求较高的链轮，应采用齿根圆千分尺进行测量。当链轮齿数为偶数时，最大齿根测量距离 $M=d_f$；齿数为奇数时，则 $M=d_f\cos\frac{90°}{z}$（z 为链轮齿数）。

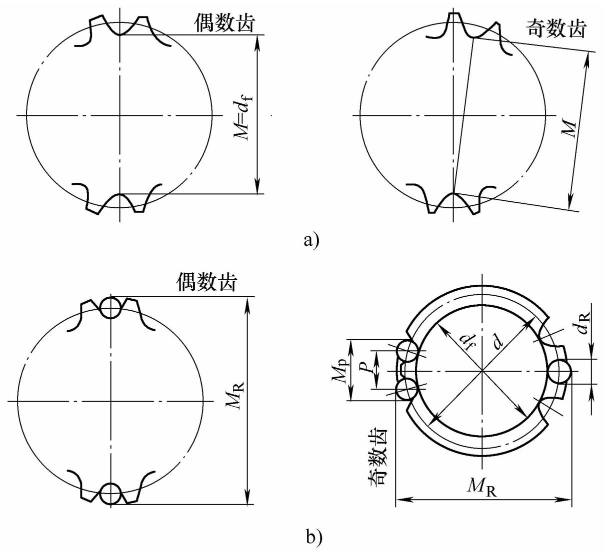


图 7-251 链轮齿根圆和节距的测量

a）直接测量法 b）间接测量法

2）间接测量法（见图7-251b）。对于精度要求高的链轮，并能满足 $\frac{d_R}{2} > h_a$ 时 $\left(d_R\text{为测量圆柱的直径}, h_a = \frac{d_a - d}{2}\right)$，可用测量圆柱作间接测量。测量偶数齿时，两测量圆柱间的测量距离 $M_P = d_f + 2d_R$；测量奇数齿时，则 $M_R = d\cos\frac{90°}{z} + d_R$。测量圆柱的直径 d_R 可等于链轮滚子直径 d_1（即 $d_R = d_1$），圆柱直径的极限偏差应为 $^{+0.01}_{0}$mm，圆度、圆柱度公差不大于直径公差的1/2，表面粗糙度值为 $Ra1.6\mu m$，表面硬度为55～60HRC。

（2）齿形链齿根圆直径的检测　齿形链间接测量时，测量偶数齿时：

$$M_R = d - \frac{0.125P}{\sin\left(30° - \frac{180°}{z}\right)} + d_R$$

式中　d——分度圆的直径（mm）；

P——分度圆的节距（mm）；

z——齿数；

d_R——测量圆柱的直径（mm）。

测量奇数齿时：

$$M_R = \cos\frac{90°}{z}\left[d - \frac{0.125P}{\sin\left(30° - \frac{180°}{z}\right)}\right] + d_R$$

式中　d——分度圆的直径（mm）；

P——分度圆的节距（mm）；

z——齿数；

d_R——测量圆柱的直径（mm）。

测量圆柱的直径 d_R 和技术要求见表7-58。

节距 $P=1$mm 时的齿形链链轮两测量圆柱间的测量距离 M_R 见表7-59。

（3）节距 P 的测量　节距 P 一般用间接测量法（见图7-251b），两圆柱之间的测量距离 $M_P = P + d_R$。

表7-58　测量圆柱的直径 d_R 和技术要求　（单位：mm）

$d_R = 0.625P$							
节距 P	9.525	12.7	15.875	19.05	25.4	31.75	38.1
测量圆柱直径 d_R	5.953	7.938	9.922	11.906	15.875	19.844	23.813

注：测量圆柱的技术要求为：直径的极限偏差为 $^{+0.01}_{0}$mm；表面粗糙度值为 $Ra0.8\mu m$；表面硬度55～60HRC。

表7-59　节距 $P=1$mm 时的齿形链链轮两测量圆柱间的测量距离 M_R

（单位：mm）

齿数 z	测量距离 M_R	齿数 z	测量距离 M_R	齿数 z	测量距离 M_R
15	5.006	30	9.884	45	14.667
16	5.362	31	10.192	46	14.994
17	5.669	32	10.524	47	15.305
18	6.018	33	10.833	48	15.632
19	6.325	34	11.164	49	15.943
20	6.669	35	11.473	50	16.270
21	6.975	36	11.803	51	16.581
22	7.315	37	12.112	52	16.907
23	7.621	38	12.442	53	17.219
24	7.960	39	12.751	54	17.545
25	8.266	40	13.080	55	17.857
26	8.602	41	13.390	56	18.182
27	8.909	42	13.718	57	18.494
28	9.244	43	14.029	58	18.820
29	9.551	44	14.356	59	19.132

（续）

齿数 z	测量距离 M_R	齿数 z	测量距离 M_R	齿数 z	测量距离 M_R
60	19.457	75	24.230	90	29.012
61	19.769	76	24.554	91	29.327
62	20.094	77	24.867	92	29.649
63	20.407	78	25.191	93	29.964
64	20.731	79	25.504	94	30.286
65	21.044	80	25.828	95	30.601
66	21.369	81	26.142	96	30.923
67	21.681	82	26.465	97	31.237
68	22.006	83	26.779	98	31.560
69	22.319	84	27.102	99	31.874
70	22.643	85	27.416	100	32.197
71	22.956	86	27.739	101	32.511
72	23.280	87	28.053	102	32.834
73	23.593	88	28.376	103	33.148
74	23.917	89	28.690	104	33.470

注：其他节距时的测量距可按表中数值乘其节距 P 即得。

4. 链轮铣削常见的质量问题及原因

链轮铣削时常见的质量问题及原因见表 7-60。

表 7-60 链轮铣削时常见的质量问题及原因

质量问题	原因分析
齿形不准	1）成形铣削时，铣刀的刀号不对 2）用通用铣刀加工时，偏移量不准确；工件回转角度不准确；用角度铣刀加工时，铣刀角度不准确；对刀时不准确 3）用展成法加工时，交换齿轮的计算不准确；主动轮和从动轮挂错
齿圈径向跳动和端面圆跳动误差大	1）装夹时，齿坯内孔与分度头或回转工作台不同轴 2）装夹时，校正基准选择不当 3）装夹时，找正不精确
链轮节距超差	1）分度不准确 2）工件与分度头或回转工作台不同轴 3）工件装夹不牢或分度头主轴未紧固
齿根圆直径超差	1）铣削深度不准确 2）测量柱的尺寸不对 3）测量不准确

7.3.14 凸轮的铣削

凸轮机构是依靠凸轮的轮廓形状，使从动件获得所需的运动。因此，当从动件的运动规律要求变化时，可以通过改变凸轮的轮廓形状来实现。凸轮的种类较多，但常用的是圆盘凸轮（见图 7-252a）和圆柱凸轮（见图 7-252c、d）。一般在铣床铣削的凸轮是等速凸轮，其工作型面常采用阿基米德螺旋面。

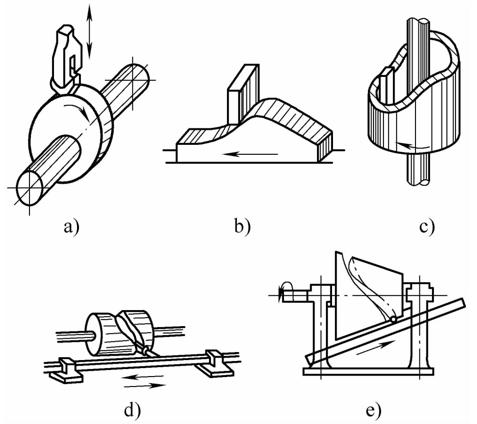


图 7-252 凸轮机构的分类

a）圆盘凸轮 b）移动凸轮 c）端面圆柱凸轮 d）圆柱凸轮 e）圆锥凸轮

1. 等速圆盘凸轮的铣削

等速圆盘凸轮的外轮廓是一由阿基米德曲线构成的螺旋面。其特点是当凸轮每转过相同的角度时，轮缘上的曲线沿半径方向升高一个相等的距离，是一种匀速升高的曲线。它具有三个基本要素：

1）升高量 H：凸轮升高量就是凸轮每一段工作曲线的最大半径和最小半径之差。图 7-253a 中，在工作曲线 AB 段，A 点的半径为 40mm，B 点的半径为 56mm，则 AB 曲线的升高量为 16mm；而 CD 段，R_C = 38mm，R_D = 56mm，则升高量为 18mm。

2）升高率 h：凸轮工作曲线转过单位角度（或等分）时，从动件沿径向移动的距离称为凸轮的升高率。若凸轮圆周按 360°角度等分时，升高率用下式计算：

$$h=\frac{H}{\theta}$$

式中 θ——工作曲线在圆周上所占的度数（°）。

若凸轮圆周按 100 格等分，升高率可按下式计算：

$$h=\frac{H}{z}$$

式中 z——工作曲线上圆周上所占的等分格数。

3）导程 P_h：凸轮工作曲线按一定的升高率，转过一周时的升高量称为导程。

若凸轮圆周按 360°角度等分，导程 P_h（mm）按下式计算：

$$P_h=\frac{360°H}{\theta}$$

若凸轮圆周按 100 格等分，则导程 P_h（mm）按下式计算：

$$P_h=\frac{100H}{z}$$

当凸轮上有多条不同升高量的曲线时（图 7-253a 中，AB 升高量为 16mm，而 CD 段为 18mm），则应按公式分别计算导程。如凸轮 AB 曲线的导程为 50mm；而 CD 曲线的导程则为 30mm。

等速圆盘凸轮在单件小批量生产中，常用分度头挂轮法、圆形工作台挂轮法进行铣削加工；在成批生产中，常用仿形法铣削加工。

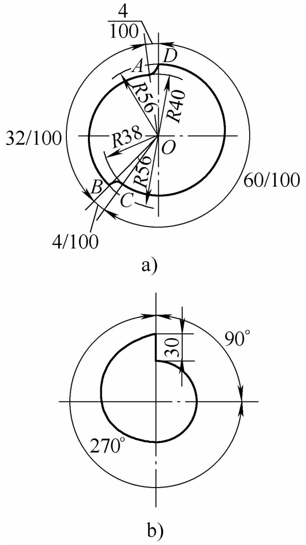


图 7-253 凸轮计算图

a）按 100 格等分 b）按 360°角度等分

（1）分度头挂轮法 按照铣削时分度头主轴的位置和角度，分度头挂轮法可分为垂直铣削法和倾斜铣削法。

1）垂直铣削法（见图 7-254）。铣削时，工件和立铣刀的轴线都与工作台台面相垂直，称为垂直铣削法。这种方法只适于加工只有一条工作曲线，或者虽有几条工作曲线，但它们的导程都相等的圆盘凸轮。其加工方法如下：

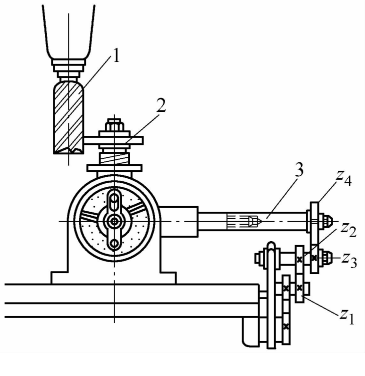


图 7-254 垂直铣削法

1—铣刀 2—工件 3—接长轴

① 划线。在凸轮的坯件上，划出凸轮的外形，打上样冲眼，以便控制铣削凸轮各段曲线的起点和终点位置以及铣削后的校验。

② 工件的安装。工件在分度头上装夹时，应用指示表校正工件轴线、铣床主轴轴线对工作台台面的垂直度。为防止工件在铣削过程中转动，工件和心轴之间可用平键连接。

③ 凸轮轮坯的粗加工。由于凸轮的加工余量不均匀，特别是升程较大的凸轮，加工余量相差甚大。故需先用锯削或铣削等方法切去大部分余量，使凸轮表面留有约 2mm 较为均匀的加工余量，以便进行精铣。

④ 铣刀的选择。通常，应根据凸轮从动件滚子的直径选用立铣刀的直径，否则凸轮的工作曲线将会产生误差。只有当凸轮从动件是尖顶挺杆时，可选用直径较大的立铣刀。此外，选用较大螺旋角的立铣刀，有利于提高铣削表面质量和生产率。

⑤ 交换齿轮的计算安装。按凸轮平面螺旋线的导程来计算交换齿轮，计算公式为

$$i=\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{40P}{P_h}$$

式中 P——铣床纵向进给丝杠的螺距；

P_h——凸轮的导程；

z_1、z_3——主动齿轮的齿数，应装于工作台丝杠的一端；

z_2、z_4——从动齿轮的齿数，应装于分度头的侧轴上。

⑥ 铣削方向的选择。凸轮铣削时，工件相对于铣刀总的进给运动是由纵向工作台的直线进给运动，与分度头的圆周运动复合而成。但是，这个复合运动必须处于逆铣方式下进行。如果出现顺铣，就会使工作台或分度头在切削力的作用下发生窜动，而影响圆盘凸轮的表面质量。因此，应使铣刀和工件的旋转方向相同，并且要从凸轮的小半径铣向凸轮的大半径（见图 7-255）。

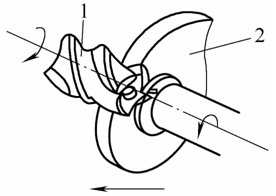


图 7-255 确定铣削凸轮时的铣削方向

1—铣刀 2—凸轮

⑦ 对刀。铣削圆盘凸轮时的对刀位置，必须根据从动件的位置来确定。如果从动件是对心直动圆盘凸轮（见图 7-256a），对刀时应将铣刀和工件的中心连线调整到与纵向进给方向一致；如果从动件是偏置直动圆盘凸轮（见图 7-256b），则应调整横向工作台，使铣刀中心偏移工件中心，偏移方向必须和从动件的偏置方向一致，且偏移的距离必须等于从动件的偏距 e。

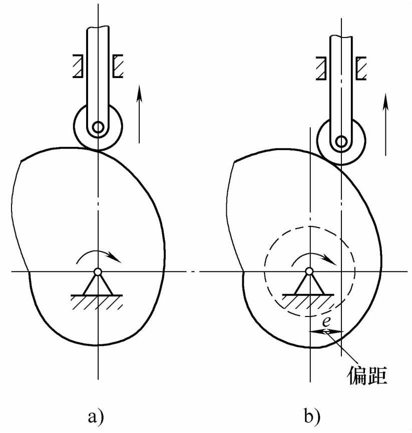


图 7-256 等速圆盘凸轮与直动杆件

a）对心直动圆盘凸轮 b）偏置直动圆盘凸轮

⑧ 铣削。铣削时，先将分度头分度手柄插销拔出，转动分度手柄，使凸轮工作曲线起始径向线位置对准铣刀切削部位，然后纵向移动工作台使铣刀切入工件达一定深度后，再将分度手柄插销插入分度盘的孔中。摇动分度手柄，使凸轮一面转动，一面作纵向移动，从而铣出凸轮的工作型面。

2）倾斜铣削法（见图 7-257）。倾斜铣削法是指在分度头主轴和水平方向成一仰角 α 后进行铣削的方法。为了使铣刀轴线与分度头的轴线平行，立铣头必须相应地转动一个 β 角度，且 $\beta=90°-\alpha$（见图 2－257a）。由图 7-257b 中可以分析出，当工作台水平移动一个假定的导程 P'_h，工件的实际导程 P_h 可按下式计算：

$$P_h=P'_h\sin\alpha$$

式中 α——分度头仰角（°）；

P'_h——假定的交换齿轮的导程（mm）。

由图 7-257a 可见，由于铣刀轴线与水平

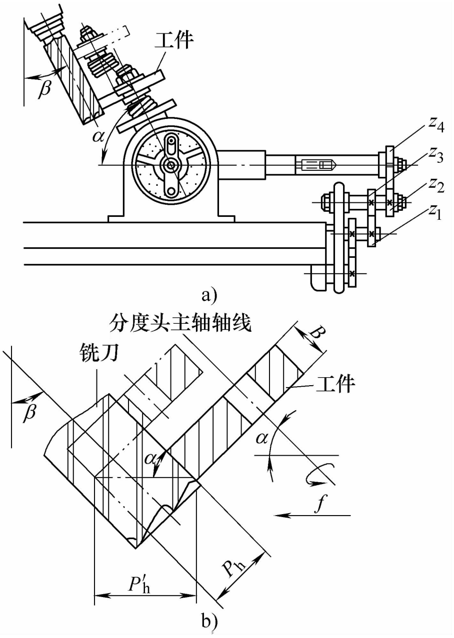


图 7-257 倾斜铣削法

a）铣削方法 b）铣削原理

进给方向倾斜，加工时工件由铣刀下部开始切削并逐渐移到铣刀的上部。因此，在加工前要预算一下铣刀切削刃的长度 l，可按下式进行计算：

$$l = B + H\cot\alpha + 10$$

式中 B——凸轮的厚度（mm）；

H——被加工凸轮曲线的升高量（mm）；

α——分度头仰角（°）。

倾斜铣削法与垂直铣削法的实际操作基本相同，但倾斜铣削法具有以下优点：

① 对于一些导程为大质数或带小数值的凸轮，用垂直铣削法加工、计算和调配交换齿轮时，不易获得准确的导程；而用倾斜铣削法加工，可将假想导程 P'_h 选择为整数值，然后通过计算，按所求得的分度头倾斜角 α 和立铣头的偏转角 β 值分别调整分度头和立铣头，即可铣削出所要求的凸轮。

② 当凸轮上有几条导程不同的曲线时（见图 7-253a，凸轮上两条曲线导程不同），若用垂直铣削法加工，每加工一条不同导程的曲线，就要通过计算、选择，更换一次交换齿轮；但用倾斜铣削法加工，只要选择一个适当的假定导程 P'_h，在加工不同导程的曲线时，不需要更换交换齿轮，只需要通过计算后改变分度头的倾斜角 α 和立铣头的偏转角 β，就可进行加工。

③ 用倾斜铣削法加工凸轮，只需操纵工作台的垂向进给运动，即可实现进刀和退刀，比垂直铣削法方便。

④ 用垂直铣削法加工凸轮，由于分度头主轴处于垂直位置，会造成某些铣床因升降行程限制而无法加工；同时由于安装交换齿轮时，分度头位于工作台一侧，还会受到工作台纵向行程的限制。而采用倾斜铣削法时，就可以弥补上述缺陷。

（2）圆形工作台挂轮法 对于一些直径较大的阿基米德圆盘凸轮，可在圆形工作台上用垂直铣削法进行铣削。它与分度头垂直铣削法的加工步骤基本相同，但也有以下一些差别：

1）挂轮计算方面。由于圆形工作台的蜗轮蜗杆传动中的蜗轮齿数比较多，一般是 120 齿（也有 90、180 齿的），因此在计算交换齿轮传动比 i 时，则 $i=\dfrac{KP}{P_h}$。式中，K 为所用圆形工作台蜗轮的齿数（定数）。根据计算结果来配置交换齿轮的齿数。安装交换齿轮装置外，还要在圆形工作台上装上万向联轴器。

2）关于进刀和退刀。用圆形工作台加工凸轮时，当需要进刀或退刀时，可利用离合器手柄使万向联轴器和蜗杆脱开。这时，摇动圆形工作台分度手柄使工作台转动，但工作台并不移动，从而使铣刀相对凸轮以圆弧运动由位置 1 进到位置 2（见图 7-258a），以达到进刀的目的；或者由位置 1′退到位置 2′（见图 7-258b），以达到退刀的目的。然后将离合器手柄扳回原位，这样就以改变螺旋线起始位置的

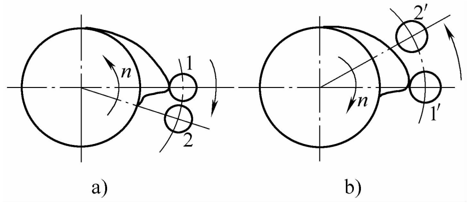


图 7-258 用圆形工作台铣削圆盘凸轮时的进刀和退刀

a）进刀 b）退刀

方法，实现了加工过程中的进刀和退刀。此外，铣削过程中的进刀和退刀最好在铣刀停止转动时进行，并使铣刀切削刃离开已加工表面，以免在调整中损伤铣刀刃口和已加工表面。

2. 等速圆柱凸轮的铣削

在圆柱体端面上加工出等速螺旋面及在圆柱体上加工出等速螺旋槽的凸轮，称为等速圆柱凸轮。

(1) 等速圆柱凸轮导程的计算（见图7-259） 等速圆柱凸轮一般都采用阿基米德螺旋面，其导程的计算方法有以下两种：

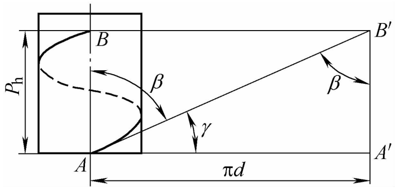


图7-259 等速圆柱凸轮的导程和螺旋角

1) 一般计算法。按图样直接标注的螺旋角β，按下式计算导程：

$$P_h = \pi d \cot\beta$$

式中 d——圆柱凸轮外径（mm）；

β——凸轮螺旋槽的螺旋角。

2) 放大作图法。用一定的放大比例，如5∶1或10∶1将凸轮外圆柱面展开成平面图，用量角器测出螺旋角β，然后根据β值计算出导程。

(2) 等速圆柱凸轮的铣削方法

1) 仿形铣削法。在成批或大量生产时，可利用靠模按仿形铣削法铣削等速圆柱凸轮（见图7-260），生产率高、质量稳定且操作方便。

2) 分度头交换齿轮法。对于小批量加工的等速圆柱凸轮，一般是在立式铣床上用立铣刀或键槽铣刀进行铣削。通过分度头不同的交换齿轮比来加工不同要求的导程，其具体计算和交换齿轮的配置与圆盘凸轮铣削基本相同。一般情况下，是利用交换齿轮把分度头侧轴和纵向工作台丝杠连接起来，但是当凸轮的导程P_h < 17mm甚至更小或者导程P_h值很大时，可利用以下方法来解决交换齿轮速比的配置问题。

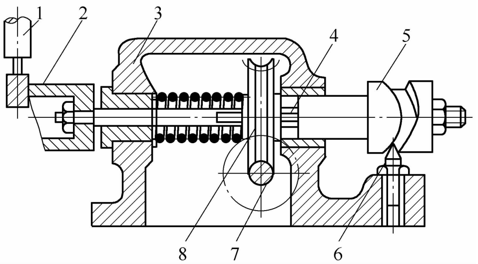


图7-260 用仿形铣削法铣削等速圆柱凸轮

1—立铣刀 2—工件 3—夹具体 4—心轴
5—模型 6—插销 7—蜗杆 8—蜗轮

① 分度头主轴交换齿轮法。当凸轮导程P_h较小时，交换齿轮的传动比大，会使交换齿轮啮合困难。因此，在铣削小导程的等速圆柱凸轮时，可使用分度头主轴交换齿轮法（见图7-261）。由于不经过分度头蜗杆蜗轮副减速，减小了传动比，此时交换齿轮的速比可按$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{P}{P_h}$计算。

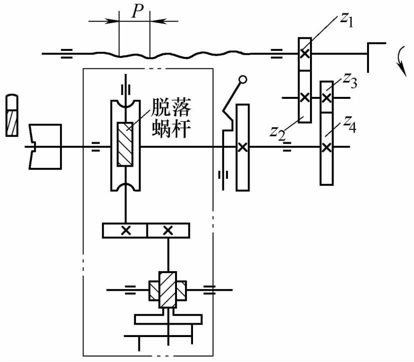


图7-261 分度头主轴交换齿轮法铣削小导程的等速圆柱凸轮

用这种方法加工时，一般不采用机动进给，而用手摇分度头进行加工。此外，这种方法只适于加工单头导程凸轮。如果凸轮工作型面为多头而导程相等的螺旋面时，由于分度头上原有的分度机构已失去原来的分度功能，故应采用别的方法来进行分度。

a. 在分度时，将交换齿轮脱开，以分度头主轴后端的从动齿轮z_4作分度依据，但z_4的齿数应为工件头数的整数倍。

b. 在分度头上加设分度装置进行分度。

② 双分度头正、反组合交换齿轮法。图

7-262 所示为双分度头正、反组合交换齿轮法传动系统。将两个分度头一正一反地组合安装，并用齿轮 z_a、z_b 将两个分度头的侧轴连接起来，分度头Ⅰ的主轴上安装工件，分度头Ⅱ的主轴通过交换齿轮与纵向工作台丝杠连接，在传动过程中抵消了蜗杆蜗轮的减速（1∶40）影响，达到了减小传动比的目的。同时，适当地选取齿轮 z_a、z_b 的传动比，还可以加工导程更小的等速圆柱凸轮。采用这种方法时，传动系统交换齿轮传动比的计算如下：

$$\frac{P_h}{P}\times\frac{z_1z_3}{z_2z_4}\times\frac{40}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{z_a}{z_b}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{40}=1$$

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{Pz_b}{P_hz_a}$$

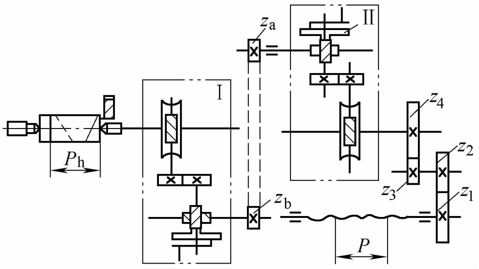


图 7-262 双分度头正、反组合交换齿轮法传动系统

应当指出，采用这一方法加工时，必须用分度头Ⅰ的分度手柄来使工作台作纵向移动，而不允许工作台作机动进给，否则会使分度头蜗轮蜗杆副逆向传动而损坏。

③ 双分度头串联组合交换齿轮法。当凸轮导程很大而单分度头传动比不能满足要求时，可将两分度头串联使用。图 7-263 所示为双分度头串联组合交换齿轮法传动系统。将分度头Ⅰ的侧轴与分度头Ⅱ的主轴连接，分度头Ⅱ的侧轴通过交换齿轮与工作台丝杠连接，其传动系统交换齿轮传动比的计算如下：

$$\frac{P_h}{P}\times\frac{z_1z_3}{z_2z_4}\times\frac{1}{40}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{1}\times\frac{1}{40}=1$$

$$\frac{z_1z_3}{z_2z_4}=\frac{1600P}{P_h}$$

3. 凸轮铣削常见的质量问题及原因

凸轮铣削常见的质量问题及原因见表 7-61。

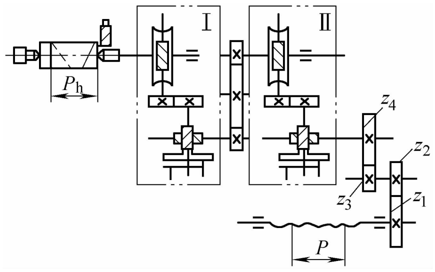


图 7-263 双分度头串联组合交换齿轮法传动系统

表 7-61 凸轮铣削常见的质量问题及原因

表面粗糙度值大	1）铣刀不锋利，立铣刀刚性差或装夹不妥，铣床横梁挂架和刀杆轴承套之间间隙过大 2）进给量过大 3）精铣时加工余量大 4）工件装夹刚性差，切削时振动较大 5）传动系统间隙过大 6）纵向工作台塞铁调整过松，进给时工作台晃动
加工表面有“深啃”	进给中途曾停刀
导程或升高量不准确	1）导程、交换齿轮比、分度头仰角计算错误 2）交换齿轮配置错误（如主、从动交换齿轮颠倒） 3）调整精度差，如分度头仰角、立铣头转角及立铣刀切削位置
螺旋槽干涉量过大	1）铣刀直径过大 2）工作台扳转角度不准 3）计算直径选择不当
盘形凸轮工作曲线误差大	1）未区别不同类型螺旋面，铣刀切削位置不准确 2）立铣刀切削刃部位呈锥度或母线不直 3）分度头和立铣头相对位置不准

7.3.15 铣床上刻线

在单件或小批量生产中，用铣床可以在工

件的圆柱面、圆锥面或平面上刻出各种等分刻度线。常见的各种刻度线见图7-264。

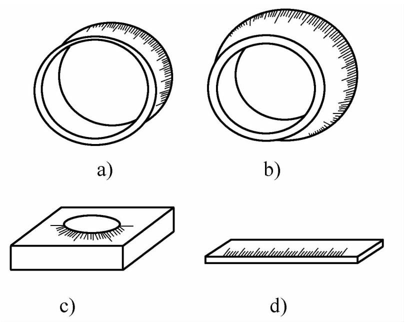


图7-264　常见各种刻度线

a）圆周等分线　b）锥面等分线

c）角度线　d）直线尺寸线

1. 刻线刀具及其安装

（1）刻线刀具（见图7-265）　刻线刀具的结构较简单，可用正方形高速钢刀条磨制，也可用立铣刀、钻头、高速钢车刀等刀具改磨而成。其前角 $\gamma_o = 0° \sim 10°$，工件材料较软时，γ_o 取大值；材料较硬时，γ_o 应取小值。刀尖角 ε 一般取 $45° \sim 60°$。后角 α_o 为 $6° \sim 10°$。刻线刀具可在普通砂轮机上，用氧化铝砂轮刃磨。刃磨后，应用油石修磨前、后刀面，要求刃口锋利、平直、角度准确，刀尖对称于刀杆中心，不允许有崩刃、钝口和退火等现象。

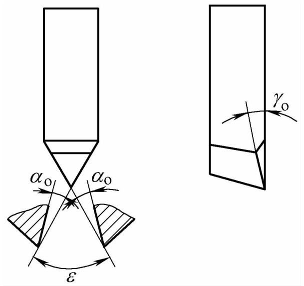


图7-265　刻线刀具

（2）刻线刀具的安装

1）在立式铣床上，应使用由立铣刀或钻头改制的刻线刀，可直接装在铣床主轴孔内。安装时，令刻线刀的前刀面与刻线的进给方向垂直。

2）在卧式铣床上，可将用高速钢刀条磨制的刻线刀装入图7-266所示的安装刻线刀具的刀夹的方孔内，用螺钉紧固，再将刀夹装在铣床的刀杆上，并调整使刻线刀与铣床工作台台面垂直。

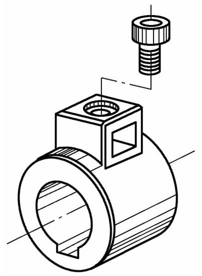


图7-266　安装刻线刀具的刀夹

2. 刻直尺的尺寸线

（1）工件的装夹（见图7-267）　刻制直尺上的尺寸线时，工件可用机用虎钳夹紧，也可用压板直接压紧在工作台上。用机用虎钳装夹工件时，应找正固定钳口与工作台纵向进给方向平行；用压板夹紧时，应将长度方向与基准侧面找正。

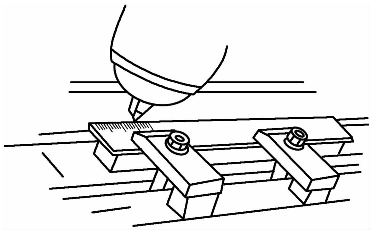


图7-267　刻直尺尺寸线时工件的装夹

（2）刻线刀的对刀

1）侧面对刀。工件装夹找正后，调整工作台，使刻线刀刀尖与工件的侧面对齐（见图7-268中的 *a*），调整横向进给刻度盘的零线，使其与基准线对齐，并紧固刻度盘，在刻度盘上记下长、短刻线的刻度数。

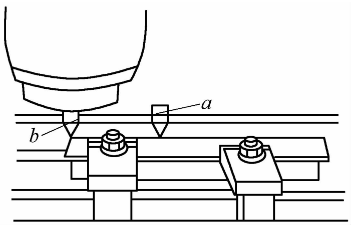


图7-268　刻直尺尺寸线时刻线刀的对刀

2）端面对刀。侧面对刀后，将工件端面移到刻线刀刀尖处，使刻线刀刀尖与工件端面

对齐（见图7-268中的 b）。调整纵向进给刻度盘的零线与基准线对齐，将刻度盘固定。

对刀过程中，应注意消除工作台丝杠和螺母之间间隙的影响，以防止使刻线间隔产生误差。

（3）刻线　对刀完毕后，先手动纵向进给手柄，用纵向刻度盘分一个间隔，再手动垂向进给手柄，使刻线刀与工件轻微接触，然后记下刻度盘上的刻度数，退出工件，按刻线深度要求上升工作台，最后摇动横向工作台进给手柄，刻出一条长度符合要求的刻线。如果所刻线条的粗细、长短合格，即可继续完成工件上的全部刻线，否则需进行相应的调整，使刻线符合要求后，再完成全部刻线的刻制。

3. 刻圆柱面、圆锥面上的等分线

（1）工件的装夹

1）在工件的圆柱面上刻线（见图7-269）。工件装在分度头与尾座顶尖间，带孔的盘状工件先装在合适的心轴上。装夹工件前，应先找正心轴与分度头主轴的同轴度；装夹工件后，应找正工件外圆柱面的径向圆跳动误差，使其在允许的范围内。轴类工件可用自定心卡盘装夹，则可直接找正圆柱面上的径向圆跳动误差。此外，工件的上母线应与工作台台面平行。

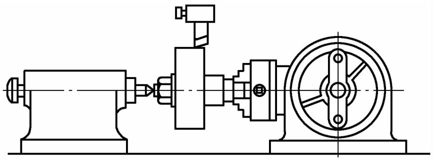


图7-269　在工件的圆柱面上刻线

2）在工件的圆锥面上刻线（见图7-270）。工件的装夹与圆柱面工件的装夹基本相同，不同之处是要将分度头的主轴倾斜一个角度 θ，使圆锥面的上母线与工作台台面平行。

（2）刻线方法

1）对刀。先在工件的圆周面和端面上划出中心线，然后对刀时，使刻线刀的刀尖对准划出的中心线，并紧固横向工作台。

2）刻线长度的调整。令刻线刀的刀尖刚刚与工件端面对齐，纵向进给刻度盘的零线与基准线对齐，将刻度盘紧固。下降工作台，摇

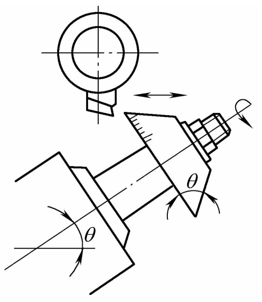


图7-270　在工件的圆锥面上刻线

动纵向工作台进给手柄，在刻度盘上记下长、短刻线在刻度盘上的位置。

3）计算分度头分度手柄的转数。当工件刻线的间隔以格为单位时，可用单式分度计算公式计算分度手柄的转数（见图7-158及表7-23）；当工件的刻线以角度为单位时，用角度分度计算公式计算分度手柄的转数（见图7-158及表7-24）。

4）刻线。调整纵向、垂向工作台，使刻线刀与工件外圆面刚刚接触，记下垂向刻度盘的读数，然后降下工作台并退出工件，按刻线深度要求上升垂向工作台，按图样要求的长度刻出一条线。如果刻线间隔与粗细都符合要求，则可继续将线刻完；否则，需作相应调整，直至刻线合乎图样要求后，再将全部刻线刻完。

4. 刻直径较大工件圆周上的径向线条

图7-271所示为刻直径较大工件圆周上的径向线条。工件可用压板装夹在回转工作台上，利用回转工作台上的刻度进行分度。在大直径圆盘上刻径向线条时，工件也可以用自定心卡盘的反爪来装夹（见图7-153）。

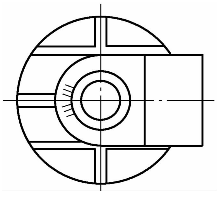


图7-271　刻直径较大工件圆周上的径向线条

5. 刻线移距的方法

（1）刻度盘法移距　对于刻线间距精度要求不高的工件，可采用刻度盘法移距，且每

两条刻线间的间距为整数值，同时还是刻度盘上每一小格移距数值的整数倍。

手轮每次应转过的格数 n、工件每两条刻线的间距值 t 及手轮刻度盘每转过一小格时工作台移动的距离 s 之间有以下关系

$$n=\frac{t}{s}$$

式中 n——手轮应转过的格数；

t——每两条刻线的间距数值；

s——刻度盘每转一小格时工作台移动的数值。

（2）分度头主轴交换齿轮法移距 对于精度要求较高的工件，可采用分度头主轴交换齿轮法移距。其交换齿轮的计算与配置参见图7-162及相关说明。

（3）用指示表控制移距 用指示表控制两次刻线间纵向工作台的移动距离的方法，也适用于对刻线间距精度要求较高的工件。

7.3.16 牙嵌式离合器的铣削

牙嵌式离合器按其齿形分类，可分为矩形齿离合器、尖齿离合器、锯齿形离合器、梯形齿离合器和螺旋形齿离合器等几种，其齿形一般都可在铣床上进行加工。牙嵌式离合器是依靠其端面上的齿牙相互嵌入或脱开来传递或脱开运动，因此，离合器的齿形、齿的位置以及结合面的表面粗糙度等将直接影响离合器能否顺利开合及使用寿命。所以，对离合器的铣削有以下工艺要求：

1）齿形。为保证离合器的齿牙在径向贴合，离合器的齿形必须通过本身轴线或向轴线上一点收缩，从轴向看其端面齿和齿槽呈辐射形；所有齿牙的齿形角和齿槽深度必须一致，以保证离合器的齿侧、齿深贴合良好。

2）同轴度。为保证离合器的贴合面积，装配时必须使齿牙轴线与装配基准孔的轴线重合。

3）等分度。为了使离合器上所有的齿与相配离合器的齿紧密贴合，必须保证齿的等分精度。

4）表面粗糙度。牙嵌式离合器的齿侧是工作表面，其表面粗糙度值 Ra 应不大于3.2μm。此外，其槽底面上不应留有明显的接刀痕迹。

1. 工件的装夹

常用的离合器的装夹有以下几种方式：

1）用自定心卡盘装夹（见图7-272a）。装夹时，必须检测其内孔的径向跳动和端面跳动，其误差应在允许的范围内。这种装夹方法一般用于加工零件数量不多的场合。

2）用可胀心轴装夹（见图7-272b）。这种装夹方法常用于零件数量较多或外形不规则的情况，且其定位基准与装配基准重合，有利于保证齿形与装配基准的同轴度。

3）用心轴和压板装夹（见图7-272c）。这种装夹方法适用于外径大而短的工件，并且数量较多的情况，其优点与可胀心轴装夹相同。

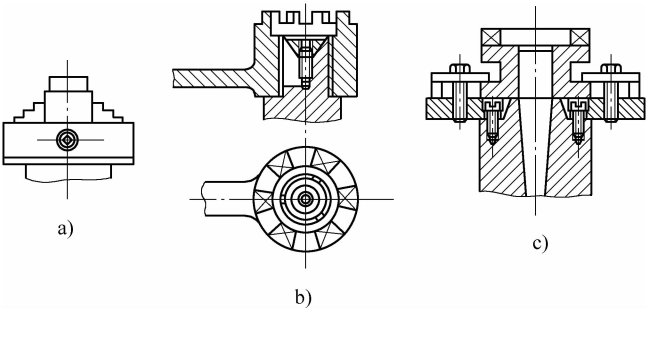


图7-272 铣削牙嵌式离合器的装夹方法

a）用自定心卡盘装夹 b）用可胀心轴装夹 c）用心轴和压板装夹

2. 矩形齿离合器的铣削

图7-273所示为矩形齿离合器，其齿形特点是齿顶及槽底均向轴线收缩，齿侧是通过轴心的径向平面。矩形齿离合器有奇数矩形齿离

合器和偶数矩形齿离合器之分。齿数不同，铣削方法及所用的刀具都有所不同，分述如下：

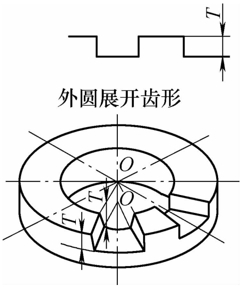


图 7-273 矩形齿离合器

（1）奇数矩形齿离合器的铣削

1）刀具的选择。铣削奇数矩形齿离合器，可采用三面刃铣刀或立铣刀。为了不会切到相邻齿，三面刃铣刀的宽度（或立铣刀的直径）应等于或小于齿槽的最小宽度。由图 7-274 可得：

$$B \leqslant \frac{d_1}{2}\sin\alpha = \frac{d_1}{2}\sin\frac{180°}{z}$$

式中 B——三面刃铣刀的宽度（mm）；

d_1——离合器内径（mm）；

α——齿槽角（°）；

z——离合器齿数。

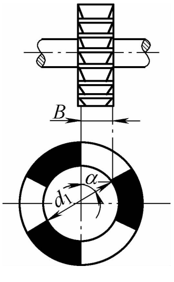


图 7-274 铣刀宽度 B 的确定

2）对刀。为了保证齿侧通过工件轴线的径向平面，必须使铣刀侧刃的旋转平面通过工件的轴线。常用的对刀方法有以下几种：

① 擦边对刀法（见图 7-275a）。先使铣刀侧刃轻轻接触工件的外圆侧面，然后退出工件，移动工作台，使铣刀向工件移动一段等于工件外圆半径的距离。该方法适用于精度要求不高的离合器。

② 试切对刀法（见图 7-275b）。对齿形精度要求较高的矩形齿离合器，可采用试切对刀法。先将一个适当直径的试件装夹在自定心卡盘内，移动工作台，使三面刃铣刀的侧刃距工件中心约 3～4mm，按离合器的齿高在试件铣一刀，再将试件转过 180°后铣一刀，试件上便形成一个宽度为 b 的凸台。测量凸台的宽度，然后移动工作台，将试件向铣刀方向移动 $b/2$ 的距离，铣刀的侧刃即通过工件的中心。

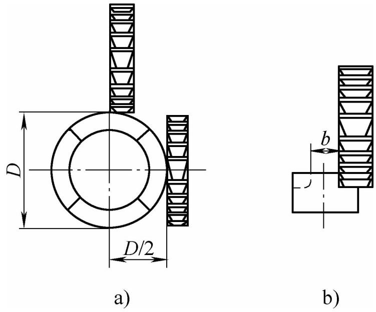


图 7-275 铣矩形齿离合器的对刀方法

a）擦边对刀法 b）试切对刀法

3）铣削方法。图 7-276 所示为铣削五矩形齿离合器。由图 7-276 可见，Ⅰ号齿槽的侧面 1 与Ⅳ号的齿槽侧面 1′在同一个通过中心的平面 1-1′上；Ⅱ号齿槽的侧面 2 与Ⅴ号齿槽的侧面 2′在同一个通过中心的平面 2-2′上；……其他齿槽的情况也是同样的。故铣削时，每次进给可穿过离合器的整个端面，并同时铣出两个齿槽的不同侧面。因此，铣削五矩形齿离合器时，只要作五次铣削进给，即可将五个齿槽的左、右两侧面铣好。其他奇数矩形齿离合器都可按这一规律进行铣削。每次铣削后，分度头的分度手柄应转过$\frac{40}{5}=8$（转）。

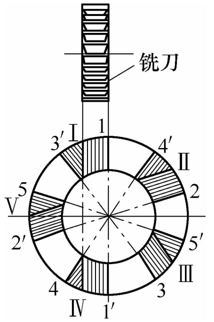


图 7-276 铣削五矩形齿离合器

4）获得齿侧间隙的方法。为了使奇数矩

形齿离合器在使用时能顺利地接合和脱开，离合器的齿侧应有一定的间隙。获得齿侧间隙的方法有以下两种：

① 偏移中心法（见图7-277a）。将离合器的各齿侧面都铣得偏离中心一定距离，这可以在对刀时调整铣刀侧刃，使其超过中心 $e=0.1\sim0.5$mm 来实现。这种方法使得齿侧面不通过工件的轴线，离合器接合时齿侧面只有外圆处接触，影响其承载能力，故只适用于要求不高的离合器。但是这种偏移方法不增加铣削次数，生产率较高。

② 偏转角度法（见图7-277b）。这种方法是将齿槽角铣得大于齿面角，即在离合器按图样要求铣出齿形后，再将离合器转过一个角度（约1°~2°）再铣一次，把所有齿的同侧都铣去一部分。用这种方法铣削的离合器，其齿侧面仍然是通过工件轴线的径向平面，齿侧面的贴合效果较好，但是需要增加离合器铣削的次数，适用于啮合要求较高的离合器。

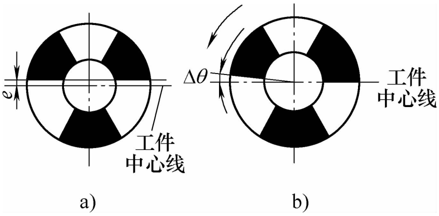


图7-277 获得齿侧间隙的方法

a）偏移中心法 b）偏转角度法

（2）偏数矩形齿离合器的铣削 铣削偶数矩形齿离合器时的工件装夹、对刀方法与铣削奇数矩形齿离合器相同。但铣削时，铣刀不仅不能通工件整个端面，还要防止切伤对面的齿，故铣刀的选择与加工方法与铣削奇数矩形齿离合器有所不同。

① 铣刀的选择。用三面刃铣刀铣削，铣刀的宽度 B 的选择与奇数矩形齿离合器相同，但为了铣刀不切伤对面的齿，故三面刃铣刀的直径 D（mm）必须满足下式（见图7-278）：

$$D\leqslant\frac{d^2-4B^2+T^2}{T}$$

式中 d——离合器齿部内径（mm）；

B——铣刀宽度（mm）；

T——离合器齿高（mm）。

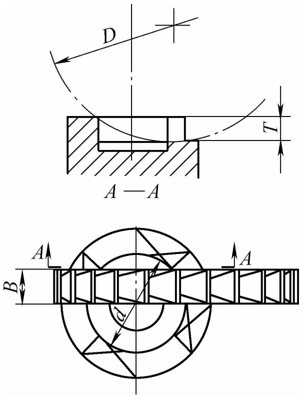


图7-278 铣偶数矩形齿离合器时三面刃铣刀直径的计算

如果上述条件不能满足，应改在立式铣床上用立铣刀铣削，立铣刀直径的选择可用三面刃铣刀直径的选择方法。

② 铣削方法。偶数矩形齿离合器要通过两次调整，才能铣出正确的齿形。铣削四矩形齿离合器的第一次调整见图7-279a。令铣刀侧刃Ⅰ对准工件中心，通过逐次分度铣出各齿槽的右侧面1、2、3和4；而铣削各齿槽的左侧面5、6、7和8，必须进行第二次调整，见图7-279b。应将横向工作台移动一个工件槽宽的距离，使铣刀的侧刃Ⅱ对准工件中心，同时工件要转过一个齿槽角 $\alpha\left(=\frac{180°}{z}\right)$，然后再逐次分度，依次铣出齿槽的左侧面5、6、7和8。为了保证偶数矩形齿离合器的齿侧也留有一定的间隙，在第二次调整时，工件应转过一个齿槽角，即 $\alpha+$（1°~2°）。

由以上分析可知，奇数矩形齿离合器的铣削工艺性比偶数矩形齿离合器好，而且三面刃铣刀直径不受工件尺寸的限制、铣刀进给的次数少、调整方便、生产率较高等，故奇数矩形齿离合器得到广泛的采用。

3. 尖齿和锯齿形离合器的铣削

尖齿离合器（见图7-280）和锯齿形离合器（见图7-282）都是整个齿形向轴线上一点收缩。铣削这类离合器时，分度头主轴必须仰起一个 θ 角，使齿槽底部处于水平位置（见图7-281和图7-283），从而使齿槽宽度由外圆向轴心变窄。

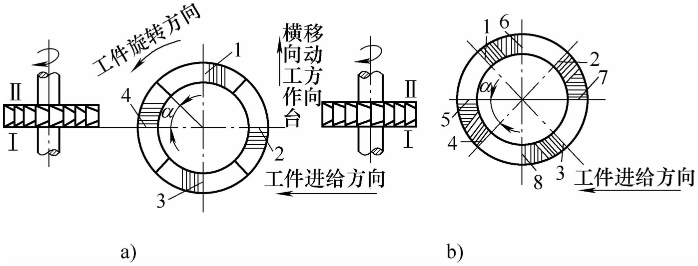


图 7-279　四矩形齿离合器的铣削顺序

a）第一次调整　b）第二次调整

1～8—齿侧面

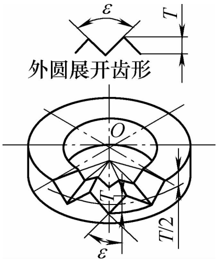


图 7-280　尖齿离合器

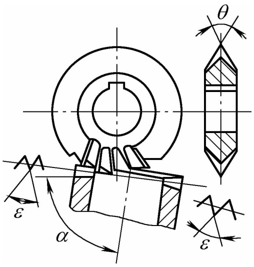


图 7-281　尖齿离合器的铣削

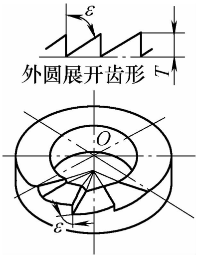


图 7-282　锯齿形离合器

（1）尖齿离合器的铣削

1）铣刀的选择。采用对称双角铣刀，其角度 θ 按槽形角 ε 选择（见图 7-281）。常用的角度有 60°和 90°两种。

2）对刀。尖齿离合器的齿形收缩点是否落在轴线上，对保证齿形良好贴合非常重要。

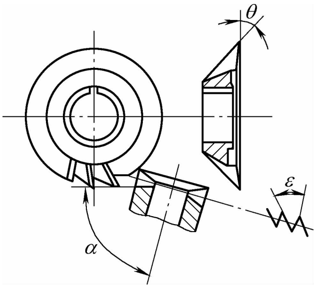


图 7-283　锯齿形离合器的铣削

故铣削时，双角铣刀的刀尖必须通过工件轴线。在实际生产中，常采用试切对刀法对刀。先使刀尖大致通过试切件的轴线，在试件端面铣出一条细线，然后将试件转过 180°，再铣一条线，测量两条线之间的距离，横向向两线中间偏移所测距离的一半，再重新试切、测量、调整直至两条细线重合，即为刀尖已通过工件的轴线。

3）分度头仰角的调整与计算。工件安装时，必须将分度头主轴仰起 α 角（见图 7-284a），这样铣出的齿形见图 7-284b；如果分度头主轴不仰起 α 角，则铣出图 7-284c 所示的齿形，其齿槽与端面平行，使离合器在接合时齿面仅仅在靠近外圆处接触，从而影响离合器的承载能力和工作的可靠性。

分度头主轴的仰角 α 应根据离合器的齿数 z、双角铣刀的廓形角 θ，按下式计算：

$$\cos\alpha = \tan\frac{90°}{z}\cot\frac{\theta}{2}$$

式中　z——离合器的齿数；

θ——双角铣刀的廓形角（°）。

为简化计算，铣尖齿及锯齿形离合器时的分度头主轴仰角 α 见表 7-62。

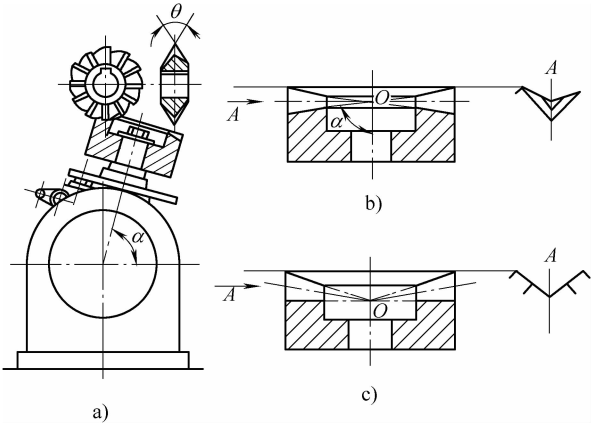


图 7-284 铣尖齿离合器的情形

a）分度头主轴仰起 α 角 b）分度头主轴仰起 α 角后铣得的齿形（正确）
c）分度头主轴处于垂直位置时铣得的齿形（不正确）

表 7-62 铣尖齿及锯齿形离合器时的分度头主轴仰角 α

离合器齿数 z	铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）				离合器齿数 z	铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
5	26°47′	38°20′	55°45′	71°02′	31	81°59′	82°58′	84°57′	87°05′
6	42°36′	49°42′	62°21′	74°27′	32	82°15′	83°11′	85°07′	87°11′
7	51°10′	56°34′	66°42′	76°48′	33	82°29′	83°24′	85°16′	87°16′
8	56°22′	61°18′	69°50′	78°31′	34	82°42′	83°36′	85°24′	87°21′
9	61°01′	64°48′	72°13′	79°50′	35	82°55′	83°47′	85°32′	87°25′
10	64°12′	67°31′	77°04′	80°53′	36	83°07′	83°57′	85°40′	87°29′
11	66°44′	69°41′	75°35′	81°44′	37	83°18′	84°07′	85°47′	87°33′
12	68°48′	71°28′	76°79′	82°26′	38	83°29′	84°16′	85°53′	87°37′
13	70°31′	72°57′	77°51′	83°01′	39	83°39′	84°25′	85°59′	87°41′
14	71°58′	74°13′	78°44′	83°31′	40	83°48′	84°33′	86°05′	87°44′
15	73°13′	75°18′	79°30′	83°58′	41	83°57′	84°41′	86°11′	87°48′
16	74°18′	76°15′	80°10′	84°21′	42	84°06′	84°49′	86°17′	87°51′
17	75°15′	77°04′	80°46′	84°41′	43	84°14′	84°56′	86°22′	87°54′
18	76°05′	77°48′	81°17′	84°59′	44	84°22′	85°03′	86°27′	87°57′
19	76°50′	78°28′	81°44′	85°15′	45	84°30′	85°10′	86°32′	87°59′
20	77°31′	79°03′	82°10′	85°29′	46	84°37′	85°16′	86°36′	88°02′
21	78°07′	79°33′	82°32′	85°42′	47	84°44′	85°22′	86°41′	88°05′
22	78°40′	80°3′	82°53′	85°53′	48	84°50′	85°28′	86°44′	88°07′
23	79°10′	80°30′	83°11′	86°04′	49	84°57′	85°34′	86°49′	88°09′
24	79°38′	80°54′	83°29′	86°14′	50	85°03′	85°38′	86°52′	88°11′
25	80°63′	81°16′	83°45′	86°23′	51	85°09′	85°44′	86°56′	88°14′
26	80°26′	81°36′	83°59′	86°31′	52	85°14′	85°48′	86°59′	88°16′
27	80°48′	81°55′	84°12′	86°39′	53	85°20′	85°53′	87°03′	88°18′
28	81°07′	82°12′	84°25′	86°47′	54	85°25′	85°58′	87°06′	88°19′
29	81°26′	82°29′	84°36′	86°53′	55	85°30′	86°02′	87°09′	88°21′
30	81°43′	82°44′	84°47′	86°59′	56	85°35′	86°07′	87°13′	88°23′

（续）

离合器齿数 z	铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）				离合器齿数 z	铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
57	85°40′	86°11′	87°15′	88°25′	89	87°13′	87°33′	88°14′	88°59′
58	85°44′	86°15′	87°18′	88°26′	90	87°15′	87°35′	88°16′	89°00′
59	85°48′	86°19′	87°21′	88°28′	91	87°17′	87°36′	88°17′	89°00′
60	85°53′	86°22′	87°24′	88°30′	92	87°18′	87°38′	88°18′	89°01′
61	85°57′	86°26′	87°26′	88°31′	93	87°20′	87°39′	88°19′	89°01′
62	86°01′	86°29′	87°29′	88°32′	94	87°22′	87°41′	88°20′	89°02′
63	86°04′	86°33′	87°31′	88°34′	95	87°23′	87°42′	88°21′	89°03′
64	86°08′	86°36′	87°33′	88°35′	96	87°25′	87°44′	88°22′	89°03′
65	86°12′	86°39′	87°36′	88°36′	97	87°27′	87°45′	88°23′	89°04′
66	86°15′	86°42′	87°38′	88°38′	98	87°28′	87°47′	88°24′	89°04′
67	86°18′	86°45′	87°40′	88°39′	99	87°30′	87°48′	88°25′	89°05′
68	86°22′	86°48′	87°42′	88°40′	100	87°31′	87°49′	88°26′	89°06′
69	86°28′	86°51′	87°44′	88°41′	101	87°33′	87°50′	88°27′	89°06′
70	86°31′	86°53′	87°46′	88°42′	102	87°34′	87°52′	88°28′	89°07′
71	86°34′	86°56′	87°48′	88°43′	103	87°36′	87°53′	88°29′	89°07′
72	86°36′	86°59′	87°50′	88°45′	104	87°37′	87°54′	88°30′	89°08′
73	86°39′	87°01′	87°51′	88°46′	105	87°38′	87°55′	88°30′	89°08′
74	86°42′	87°03′	87°53′	88°47′	106	87°40′	87°57′	88°31′	89°09′
75	86°44′	87°06′	87°55′	88°48′	107	87°41′	87°58′	88°32′	89°09′
76	86°47′	87°08′	87°56′	88°48′	108	87°42′	87°59′	88°33′	89°10′
77	86°47′	87°10′	87°58′	88°50′	109	87°43′	88°00′	88°34′	89°10′
78	86°52′	87°12′	88°00′	88°51′	110	87°45′	88°01′	88°34′	89°10′
79	86°54′	87°15′	88°01′	88°52′	111	87°46′	88°02′	88°35′	89°11′
80	86°56′	87°17′	88°03′	88°53′	112	87°47′	88°03′	88°36′	89°11′
81	86°56′	87°19′	88°04′	88°54′	113	87°48′	88°04′	88°37′	89°12′
82	86°59′	87°21′	88°05′	88°55′	114	87°49′	88°05′	88°37′	89°12′
83	87°01′	87°23′	88°07′	88°54′	115	87°51′	88°06′	88°38′	89°13′
84	87°03′	87°24′	88°08′	88°55′	116	87°52′	88°07′	88°39′	89°13′
85	87°05′	87°26′	88°09′	88°56′	117	87°53′	88°08′	88°40′	89°13′
86	87°07′	87°28′	88°11′	88°57′	118	87°54′	88°09′	88°40′	89°14′
87	87°09′	87°30′	88°12′	88°57′	119	87°55′	88°10′	88°41′	89°14′
88	87°11′	87°31′	88°13′	88°58′	120	87°56′	88°11′	88°42′	89°15′

4）铣削方法。铣削尖齿离合器时，不论其齿数是奇数还是偶数，每分度一次只能铣出一条齿槽。调整铣削深度，应按大端的齿深在外圆处测量。一般地，使大端齿顶留有0.2～0.3mm宽度的平面，以保证齿形工作面接触良好。

（2）锯齿形离合器的铣削 锯齿形离合器的齿形与尖齿离合器的齿形相仿，但其一侧齿面为向心平面（见图7-282）。槽形角有60°、70°、75°、80°等几种。其铣削方法和步骤与铣削尖齿离合器基本相同，主要区别是铣刀的选择、对刀方法和分度头主轴的仰角 α 的计算三个方面。

1）铣刀的选择。根据锯齿形离合器齿形的特点，应选用单角铣刀，其廓形角 θ 与等于槽形角 ε。

2）对刀方法。对刀时，应使单角铣刀的端面刃准确地通过工件的轴线，可采用试切法或侧刃擦边对刀法（见图7-285）进行对刀。

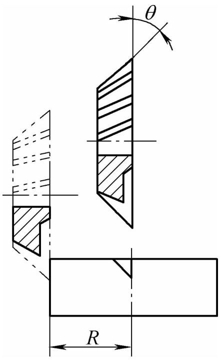


图7-285 侧刃擦边对刀法

3）分度头主轴的仰角α的计算。分度头主轴的仰角α的计算公式为

$$\cos\alpha = \tan\frac{180°}{z}\cot\theta$$

式中 z——离合器的齿数；

θ——单角铣刀的廓形角（°）。

为简化计算，铣削锯齿形齿离合器时的分度头主轴仰角α见表7-63。

表7-63 铣削锯齿形齿离合器时的分度头主轴仰角α

离合器齿数z	单角铣刀廓形角θ（=工件齿形角ε）						
	45°	50°	60°	70°	75°	80°	85°
10	71°02′	74°10′	79°11′	83°12′	85°00′	86°42′	88°22′
11	72°55′	75°44′	80°14′	83°51′	85°29′	87°01′	88°31′
12	74°27′	77°00′	81°06′	84°24′	85°53′	87°7′	88°39′
13	75°43′	78°03′	81°49′	84°51′	86°12′	87°30′	88°45′
14	76°48′	78°57′	82°25′	85°14′	86°29′	87°41′	88°51′
15	77°43′	79°43′	82°57′	85°33′	86°44′	87°51′	88°56′
16	78°33′	80°23′	83°24′	85°50′	86°56′	87°59′	89°00′
17	79°13′	80°58′	83°48′	86°05′	87°07′	88°06′	89°03′
18	79°50′	81°29′	84°09′	86°19′	87°17′	88°13′	89°06′
19	80°23′	81°57′	84°28′	86°31′	87°26′	88°18′	89°09′
20	80°53′	82°21′	84°45′	86°41′	87°34′	88°23′	89°12′
21	81°19′	82°44′	85°00′	86°51′	87°41′	88°28′	89°14′
22	81°44′	83°04′	85°14′	87°00′	87°47′	88°32′	89°16′
23	82°05′	83°22′	85°26′	87°07′	87°53′	88°36′	89°18′
24	82°26′	83°39′	85°38′	87°15′	87°58′	88°40′	89°20′
25	82°44′	83°54′	85°49′	87°21′	88°03′	88°43′	89°22′
26	83°01′	84°09′	85°58′	87°28′	88°08′	88°46′	89°23′
27	83°17′	84°22′	86°07′	87°33′	88°12′	88°9′	89°24′
28	83°31′	84°34′	86°16′	87°38′	88°16′	88°51′	89°26′
29	83°45′	84°45′	86°24′	87°43′	88°19′	88°54′	89°27′
30	83°58′	84°56′	86°31′	87°48′	88°23′	88°56′	89°28′
31	84°09′	85°06′	86°38′	87°52′	88°26′	88°58′	89°29′
32	84°20′	84°15′	86°44′	87°56′	88°29′	89°00′	89°30′
33	84°31′	84°24′	86°50′	88°00′	88°32′	89°02′	89°31′
34	84°40′	84°32′	86°55′	88°04′	88°34′	89°03′	89°32′
35	84°50′	84°40′	87°01′	88°71′	88°37′	89°05′	89°32′
36	84°58′	84°47′	87°06′	88°10′	88°39′	89°06′	89°33′
37	85°07′	84°54′	87°11′	88°13′	88°41′	89°08′	89°34′
38	85°14′	86°00′	87°15′	88°16′	88°43′	89°09′	89°35′

（续）

离合器齿数 z	单角铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）						
	45°	50°	60°	70°	75°	80°	85°
39	85°22′	86°06′	87°19′	88°18′	88°45′	89°11′	89°35′
40	85°29′	86°12′	87°23′	88°21′	88°47′	89°12′	89°36′
41	85°35′	86°18′	87°27′	88°23′	88°49′	89°13′	89°36′
42	85°42′	86°23′	87°31′	88°26′	88°50′	89°14′	89°37′
43	85°48′	86°28′	87°34′	88°28′	88°52′	89°15′	89°37′
44	85°53′	86°33′	87°38′	88°30′	88°54′	89°16′	89°38′
45	85°59′	86°38′	87°41′	88°32′	88°55′	89°17′	89°38′
46	86°04′	86°42′	87°44′	88°34′	88°56′	89°18′	89°39′
47	86°09′	86°46′	87°47′	88°36′	88°58′	89°19′	89°39′
48	86°14′	86°50′	87°49′	88°37′	88°59′	89°20′	89°40′
49	86°19′	86°54′	87°52′	88°39′	89°00′	89°21′	89°40′
50	86°23′	86°58′	87°55′	88°41′	89°02′	89°21′	89°41′
51	86°27′	87°02′	87°57′	88°42′	89°03′	89°22′	89°41′
52	86°31′	87°05′	87°59′	88°44′	89°04′	89°23′	89°41′
53	86°35′	87°08′	88°02′	88°45′	89°05′	89°24′	89°42′
54	86°39′	87°11′	88°04′	88°47′	89°06′	89°24′	89°42′
55	86°43′	87°14′	88°06′	88°48′	89°07′	89°25′	89°42′
56	86°46′	87°17′	88°08′	88°49′	89°08′	89°25′	89°43′
57	86°50′	87°20′	88°10′	88°50′	89°09′	89°26′	89°43′
58	86°53′	87°23′	88°12′	88°52′	89°10′	89°27′	89°43′
59	86°56′	87°26′	88°14′	88°53′	89°11′	89°27′	89°44′
60	86°59′	87°28′	88°15′	88°54′	89°11′	89°28′	89°44′
61	87°02′	87°31′	88°17′	88°55′	89°12′	89°28′	89°44′
62	87°05′	87°33′	88°19′	88°56′	89°13′	89°29′	89°45′
63	87°08′	87°35′	88°20′	88°57′	89°14′	89°29′	89°45′
64	87°11′	87°38′	88°22′	88°58′	89°14′	89°30′	89°45′
65	87°13′	87°40′	88°23′	88°59′	89°15′	89°30′	89°45′
66	87°16′	87°42′	88°25′	89°00′	89°16′	89°31′	89°46′
67	87°18′	87°44′	88°26′	89°01′	89°16′	89°31′	89°46′
68	87°21′	87°46′	88°28′	89°02′	89°17′	89°31′	89°46′
69	87°23′	87°48′	88°29′	89°02′	89°18′	89°32′	89°46′
70	87°25′	87°50′	88°30′	89°03′	89°19′	89°32′	89°46′
71	87°27′	87°52′	88°32′	89°04′	89°19′	89°33′	89°47′
72	87°29′	87°54′	88°33′	89°05′	89°19′	89°33′	89°47′
73	87°31′	87°55′	88°34′	89°06′	89°20′	89°33′	89°47′
74	87°33′	87°57′	88°35′	89°06′	89°20′	89°34′	89°47′
75	87°35′	87°59′	88°36′	89°07′	89°21′	89°34′	89°47′
76	87°37′	88°00′	88°37′	89°08′	89°22′	89°34′	89°47′
77	87°39′	88°02′	88°38′	89°08′	89°22′	89°35′	89°47′
78	87°41′	88°03′	88°40′	89°09′	89°23′	89°35′	89°48′
79	87°43′	88°05′	88°41′	89°10′	89°23′	89°35′	89°48′

（续）

离合器齿数 z	单角铣刀廓形角 θ（=工件齿形角 ε）						
	45°	50°	60°	70°	75°	80°	85°
80	87°44′	88°06′	88°42′	89°10′	89°24′	89°36′	89°48′
81	87°46′	88°08′	88°42′	89°11′	89°24′	89°36′	89°48′
82	87°48′	88°09′	88°43′	89°12′	89°25′	89°36′	89°48′
83	87°49′	88°10′	88°44′	89°12′	89°25′	89°37′	89°48′
84	87°51′	88°12′	88°45′	89°13′	89°25′	89°37′	89°49′
85	87°52′	88°13′	88°46′	89°13′	89°26′	89°37′	89°49′
86	87°54′	88°14′	88°47′	89°14′	89°26′	89°37′	89°49′
87	87°55′	88°15′	88°48′	89°14′	89°26′	89°38′	89°49′
88	87°57′	88°16′	88°49′	89°15′	89°27′	89°38′	89°49′
89	87°58′	88°18′	88°49′	89°15′	89°27′	89°38′	89°49′
90	87°59′	88°19′	88°50′	89°16′	89°28′	89°38′	89°49′
91	88°01′	88°20′	88°51′	89°16′	89°28′	89°39′	89°50′
92	88°02′	88°21′	88°52′	89°17′	89°28′	89°39′	89°50′
93	88°03′	88°22′	88°52′	89°17′	89°29′	89°39′	89°50′
94	88°05′	88°23′	88°53′	89°18′	89°29′	89°39′	89°50′
95	88°06′	88°24′	88°54′	89°18′	89°20′	89°39′	89°50′
96	88°07′	88°25′	88°55′	89°19′	89°30′	89°40′	89°50′
97	88°08′	88°26′	88°55′	89°19′	89°30′	89°40′	89°50′
98	88°09′	88°27′	88°56′	89°19′	89°30′	89°40′	89°50′
99	88°10′	88°28′	88°56′	89°20′	89°31′	89°40′	89°50′
100	88°11′	88°29′	88°57′	89°20′	89°31′	89°40′	89°50′
101	88°13′	88°30′	88°58′	89°21′	89°31′	89°44′	89°51′
102	88°14′	88°31′	88°58′	89°21′	89°31′	89°41′	89°51′
103	88°15′	88°32′	88°59′	89°21′	89°32′	89°41′	89°51′
104	88°16′	88°32′	89°00′	89°22′	89°32′	89°41′	89°51′
105	88°17′	88°33′	89°00′	89°22′	89°32′	89°41′	89°51′
106	88°18′	88°34′	89°91′	89°22′	89°32′	89°42′	89°51′
107	88°19′	88°35′	89°01′	89°23′	89°33′	89°42′	89°51′
108	88°19′	88°36′	89°02′	89°23′	89°33′	89°42′	89°51′
109	88°20′	88°36′	89°02′	89°23′	89°33′	89°42′	89°51′
110	88°21′	88°37′	89°03′	89°24′	89°34′	89°42′	89°51′
111	88°22′	88°38′	89°03′	89°24′	89°34′	89°42′	89°51′
112	88°23′	88°39′	89°04′	89°24′	89°34′	89°42′	89°51′
113	88°24′	88°39′	89°04′	89°25′	89°34′	89°43′	89°52′
114	88°25′	88°01′	89°05′	89°26′	89°35′	89°43′	89°52′
115	88°26′	88°41′	89°05′	89°25′	89°35′	89°43′	89°52′
116	88°26′	88°41′	89°06′	89°25′	89°35′	89°43′	89°52′
117	88°27′	88°42′	89°06′	89°26′	89°35′	89°43′	89°52′
118	88°28′	88°43′	89°07′	89°26′	89°35′	89°43′	89°52′
119	88°29′	88°43′	89°07′	89°26′	89°35′	89°43′	89°52′
120	88°29′	88°44′	89°08′	89°27′	89°36′	89°44′	89°52′

4. 梯形齿离合器的铣削

梯形齿离合器分为梯形收缩齿离合器和梯形等高齿离合器两种，它们的铣削方法有很大的区别，分述如下：

（1）梯形收缩齿离合器（见图 7-286）　梯形收缩齿离合器的齿形，实际上就是把尖齿离合器的齿顶和槽底分别用平行于齿顶线和槽底线的平面截去一部分。截后的齿顶及槽底在齿长方向是等宽的，并且它们的中心线都通过轴线。因此，梯形收缩齿离合器的铣削方法及分度头仰角 α 的计算、查表与铣削尖齿离合器相同，只是铣刀的选择和对刀方法不同。

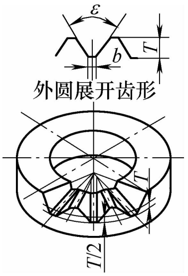


图 7-286　梯形收缩齿离合器

1）铣刀的选择。用梯形槽成形铣刀铣削梯形收缩齿离合器，见图 7-287。铣刀廓形角 θ 应等于离合器的槽形角 ε，齿顶宽度应等于离合器的宽度 b，铣刀廓形的有效工作高度必须大于离合器外圆处的齿高 T。

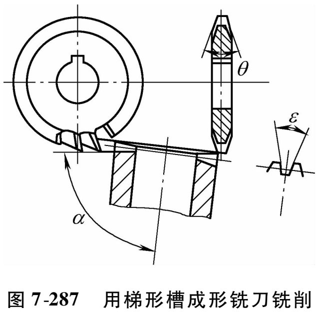


图 7-287　用梯形槽成形铣刀铣削梯形收缩齿离合器

2）对刀方法。对于齿数较多的梯形收缩齿离合器，由于齿距较小，可采用试切对刀法对刀，以保证铣刀廓形的对称面通过工件的轴线。对于齿数较少、齿距较大的梯形收缩齿离合器，试切对刀法不易对准，可采用图 7-288 所示的方法对刀。即先使分度头主轴处于垂直位置，目测使铣刀的廓形对称线大致对准工件中心，按齿高的 1/2 左右在工件的径向试切一刀，同时记下升降台手轮刻度读数。然后降低升降台，将工件转过 180°，慢慢再升高升降台，同时注意观察铣刀两侧与齿槽两侧的接触情况。若铣刀只有一侧和齿槽接触，则说明对刀不准（见图 7-288a）。此时，应根据升降台刻度的读数和试铣时的刻度盘读数的差值来确定铣刀齿顶与槽底的距离 x（见图 7-288b），再按 x 值计算铣刀廓形对称线偏离工件轴线的距离 e（mm）。由图 7-288b 可得

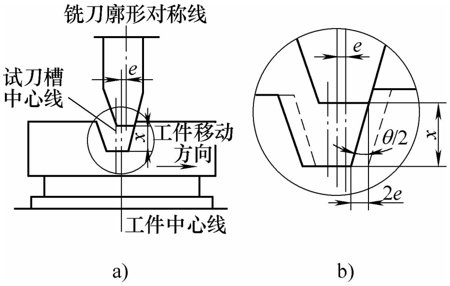


图 7-288　铣削梯形收缩齿离合器的对刀方法
a）铣刀只有一侧和齿槽接触　b）铣刀的位置计算

$$e = \frac{x}{2}\tan\frac{\theta}{2}$$

式中　θ——铣刀廓形角（°）。

e 值确定后，可横向移动工作台，使工件齿槽与铣刀的一侧移开铣刀一段距离 e。如果铣刀廓形两侧与齿槽两侧同时接触，则表明铣刀廓形对称线已通过工件轴线，正确对刀后，将分度头主轴扳转 α 角，调整好切削深度，即可进行铣削。

（2）梯形等高齿离合器（见图 7-289）　梯形等高齿离合器齿形的特点是齿顶面与槽底面平行，并垂直于离合器的轴线。其齿侧高度不变，而齿侧的中性线（齿深 1/2 高度处的线）必须汇交于离合器的轴线。其铣削方法可根据选用刀具的不同，分为以下两种：

1）用成形铣刀铣削。用成形铣刀铣削时，一般在卧式铣床上进行，并使分度头主轴处于垂直位置。其铣削方法、步骤与铣削矩形齿离合器基本相同，只是铣刀的选择和对刀方法有所区别。

①　铣刀的选择。成形铣刀的廓形角 θ 应等于离合器的齿形角 ε，铣刀廓形的有效工作高度应大于离合器的齿高 T，而铣刀的齿顶宽

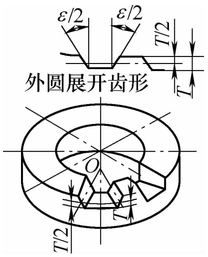


图 7-289 梯形等高齿离合器

度 B 应小于齿槽的最小宽度，以免在铣削时碰伤齿槽的另一侧。

② 对刀方法。铣削时，为了保证齿侧中性线通过离合器的轴线，应使铣刀侧刃上离刀齿顶 $T/2$ 处的 K 点通过离合器的轴线，其对准方法是先用试切对刀法使铣刀处于工件的中心位置，再令铣刀偏离工件轴心一段距离 e。由图 7-290 可计算出 e（mm）值为

$$e = \frac{B}{2} + \frac{T}{2}\tan\frac{\theta}{2}$$

式中 B——铣刀的齿顶宽度（mm）；

T——离合器的齿高（mm）；

θ——铣刀切削刃的夹角（°）。

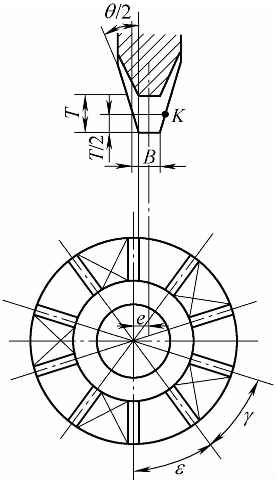


图 7-290 铣削梯形等高齿离合器时铣刀的工作位置

2）用三面刃铣刀铣削。当加工零件数量不多时，也可用三面刃铣刀在立式铣床上进行铣削，但需要分铣削梯形齿底槽和铣削梯形齿侧斜面两步进行。

① 铣削梯形齿底槽（见图 7-291a）。立铣头的主轴处于垂直位置，分度头的主轴处于水平位置。工作台作横向进给，铣削方法与铣削矩形齿离合器基本相同，但应使三面刃铣刀的侧刃偏离工件中心一个距离 e（mm）。由图 7-291a 可得

$$e = \frac{T}{2}\tan\frac{\varepsilon}{2}$$

式中 e——铣刀侧刃偏离工件中心的距离（mm）；

T——梯形等高齿离合器的齿深（mm）；

ε——梯形等高齿离合器的齿形角（°）。

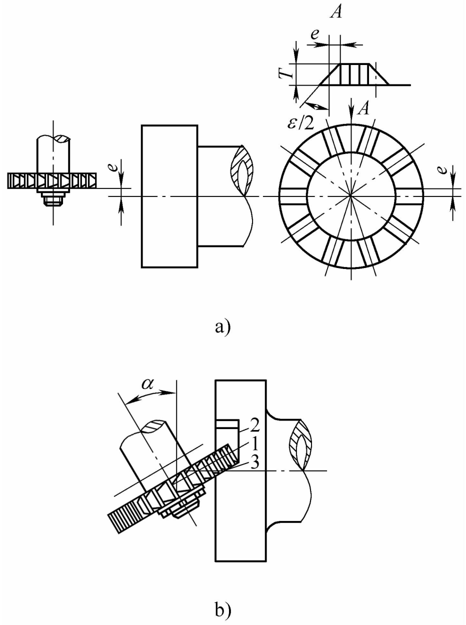


图 7-291 用三面刃铣刀铣削梯形等高齿离合器

a）铣削梯形齿底槽 b）铣削梯形齿侧斜面

1—三面刃铣刀刀尖 2—槽底 3—底槽角

② 铣削梯形齿侧斜面（见图 7-291b）。在铣削完工件上的全部底槽之后，将立铣头扳转一个角度 α，$\alpha = \varepsilon/2$。纵向移动工作台，使三面刃铣刀刀尖 1 与已铣好的槽底 2 稍稍接触，然后调整工作台，使刀尖刚好切到底槽角 3 处，然后就可逐齿分度进行铣削。

5. 螺旋齿离合器的铣削

螺旋齿离合器有双向螺旋齿和单向螺旋齿两种，这类离合器的齿数较少。由图 7-292 可见，双向螺旋齿（见图 7-292a）及单向螺旋

齿（见图7-292b）的齿形特点和梯形等高齿或单向梯形离合器的基本相同，只是由螺旋面代替了斜面。螺旋齿离合器一般在立式铣床进行铣削（见图7-293），其铣削方法如下：

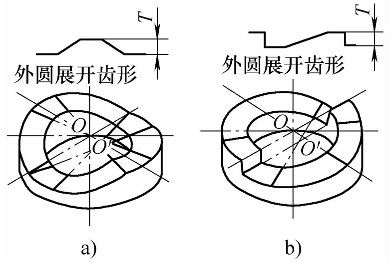


图7-292 螺旋齿离合器及其齿形

a）双向螺旋齿 b）单向螺旋齿

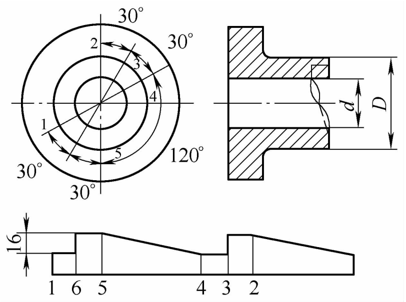


图7-293 螺旋齿离合器

（1）铣削底槽（见图7-294） 用三面刃铣刀铣削底槽时，分度头主轴处于水平位置，铣削方法与铣削偶数矩形齿离合器相似，但是在选用三面刃铣刀的宽度 B 和工件偏转一个齿槽角时，需用图7-294中所注的齿槽角30°来计算和调整。铣刀的宽度 B 可按下式计算：

$$B \leqslant \frac{d}{2}\sin 30°$$

式中 B——铣刀的宽度（mm）；

d——离合器内径（mm）。

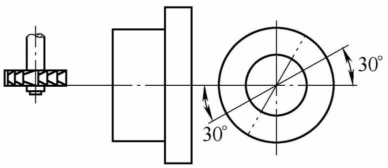


图7-294 铣削底槽

（2）铣削螺旋面（见图7-295） 铣削完底槽后，换上直径等于或小于三面刃铣刀宽度的立铣刀。按工件导程计算、配置和安装交换齿轮后，松开固定分度盘的装置，摇动分度手柄，带动分度盘一起转动，检查螺旋方向是否正确，并决定在配置挂轮中是否要加中间轮。

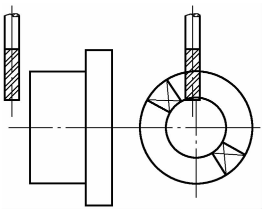


图7-295 铣削螺旋面

为了减少干涉现象、获得较精确的径向直廓螺旋面，应调整横向工作台，使立铣刀中心偏离被铣螺旋面的侧面（工件中心）一个距离 e（mm）。e 值可按下式计算：

$$e = R'\sin\frac{1}{2}\left(\arctan\frac{P_{H}}{\pi D} + \arctan\frac{P_{H}}{\pi d}\right)$$

式中 R'——立铣刀半径（mm）；

d——离合器内径（mm）；

D——离合器外径（mm）；

P_{H}——螺旋面导程（mm）。

加工时，将工件要铣的槽侧面处调整到垂直位置（见图7-295），立铣刀进入已铣出的齿槽处，调整好切削位置后，将分度手柄插入附近的孔圈中，这时摇动分度手柄，就可以铣削螺旋面。这样反复进给，直至铣完第一个螺旋面。然后降低铣床升降工作台，反向转动分度手柄直至回到螺旋面的起铣点，分度后，将升降工作台升至原来位置，再以相同的方法铣削第二个螺旋面。铣削时，要分粗铣和精铣。精铣时，要求立铣刀的相对位置不变，即铣削位置与切削深度相同，以保证两个螺旋面等高。

当螺旋面导程小于17mm时，可采用主轴交换齿轮法计算、配置交换齿轮（见图7-261）。

6. 牙嵌式离合器铣削常见的质量问题及原因

牙嵌式离合器铣削常见的质量问题及原因见表7-64。

表 7-64 牙嵌式离合器铣削常见的质量问题及原因

现象	齿形	产生原因
齿侧工作面表面粗糙度差	各种齿形	1）铣刀不锋利；用盘形铣刀或角度铣刀时，径向跳动或轴向跳动太大 2）装夹不稳固 3）进给量太大 4）传动系统间隙过大 5）切削液不充分
槽底未接平，有较明显的凸台	矩形齿、梯形等高齿	1）盘形铣刀柱面齿刃口缺陷；立铣刀端刃缺陷或立铣头的轴线与工作台面不垂直 2）分度头主轴与工作台台面不垂直 3）升降工作台走动，刀轴松动或刚度差
各齿在外圆处的弦长不等	矩形齿、梯形齿、尖齿、梯形收缩齿、锯齿形齿	1）分度不均匀 2）分度装置精度太低 3）工件装夹时不同轴
一对离合器接合后，接触齿数太少或无法嵌入	矩形齿、梯形齿、尖齿、梯形收缩齿、锯齿形齿	1）分度错误 2）齿槽角铣得太小 3）工件装夹不同轴 4）对刀不准
	螺旋齿	各螺旋面起始位置不准或各螺旋面不等高
一对离合器接合后，贴合面积不够	各种齿形	1）工件装夹不同轴 2）对刀不准
	齿面齿形	分度头主轴与工作台台面不垂直或不平行
	斜齿面齿形	刀具廓形角不符或分度头仰角计算、调整错误
一对尖齿或锯齿形离合器接合后，齿侧不贴合	尖齿、锯齿形齿	1）铣得太深，造成齿顶过尖，使齿顶搁在槽底，齿侧不能贴合 2）分度头仰角计算或调整错误

7.3.17 刀具齿槽的铣削

刀具齿槽的铣削也称为刀具开齿，是指对多刃刀具的刀齿和容屑空间的加工。多刃刀具的种类很多，如各种铣刀、铰刀、丝锥等。按刀齿的齿向，可分为直齿和螺旋齿；按刀齿所在的表面，可分为圆柱面齿、圆锥面齿和端面齿。由于刀齿在铣削后通常要进行磨削，故铣削时应留有磨削余量。

1. 圆柱面直齿刀具齿槽的铣削

铣削圆柱面直齿刀具时，应根据被加工刀具的前角 γ_o、齿槽角 θ 和齿槽深度 h，合理选择加工时所用铣刀的廓形和调整所用铣刀的铣削位置。

（1）用单角铣刀铣削　由于用单角铣刀铣削齿槽计算调整方便、参加切削的刃口较短、切削负荷小、铣刀的端面刃口能对被加工刀具的前刀面起修光作用，故铣削质量较好。因此，一般应尽量采用单角铣刀。

1）铣削前角 $\gamma_o=0°$ 的刀具齿槽（见图 7-296）。单角铣刀的廓形应按齿槽角 θ 和槽底圆弧半径选择，其外径按齿槽深度 h 来确定（见图 7-296）。

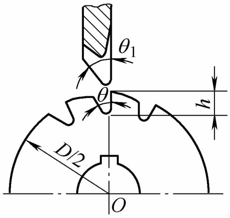


图 7-296　铣削前角 $\gamma_o=0°$ 的刀具齿槽

刀坯一般装夹在分度头或专用夹具上，带孔铣刀刀坯应以孔为基准，用心轴装夹；带柄铣刀刀坯应以两端中心孔为基准，用两顶尖装夹。装夹后，应校正圆柱面的径向跳动量，并与工作台台面和进给方向平行。用切痕对刀法或划线对刀法，使单角铣刀的端面切削刃通过刀坯的中心线，以保证前角为零度。铣削时的吃刀量应等于齿槽深度，同时考虑到外圆磨削余量和棱边宽度，铣完一齿后，根据工件齿数用分度装置进行分度，并完成全部齿槽的铣削。

2）铣削前角 $\gamma_o=0°$ 的刀具齿背（见图 7-297）。齿槽加工完后，可直接用单角铣刀铣削

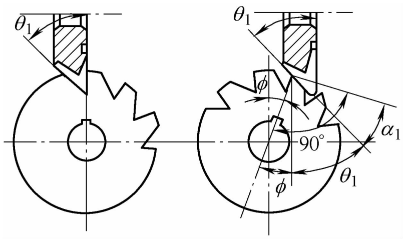


图 7-297　铣削前角 $\gamma_o=0°$ 的刀具齿背

由两条斜线组成的齿背，齿背角为 α_1。铣削时，应将工件转过一个角度 ϕ。并重新调整好铣刀位置。ϕ 角度值可按下式计算：

$$\phi = 90° - \theta_1 - \alpha_1$$

式中　θ_1——单角铣刀廓形角（°）；

α_1——刀具齿背角（°）。

3）铣削前角 $\gamma_o>0°$ 的刀具齿槽（见图 7-298）。其铣削步骤与铣削前角 $\gamma_o=0°$ 的刀具

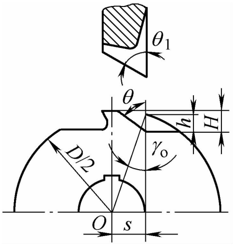


图 7-298　铣削前角 $\gamma_o>0°$ 的刀具齿槽

齿槽基本相同，但单角铣刀位置调整时，应先使单角铣刀的端面切削刃对准刀坯的中心，然后将工作台横向移动距离 s，同时再升高 H，其计算方法如下：

$$s = \frac{D}{2}\sin\gamma_o$$

$$H = \frac{D}{2}(1-\cos\gamma_o)+h$$

式中　D——工件外径（mm）；

γ_o——被加工刀具前角（°）；

h——被加工刀具齿槽深（mm）。

为便于计算，用单角铣刀铣圆柱面直齿槽时 s 和 H 的计算值见表 7-65。

表 7-65　用单角铣刀铣圆柱面直齿槽时 s 和 H 的计算值

计算值	被加工刀具前角 γ_o				
	0°	5°	10°	15°	20°
s/mm	0	$0.0436D$	$0.0868D$	$0.129D$	$0.171D$
H/mm	h	$0.001D+h$	$0.0076D+h$	$0.017D+h$	$0.03D+h$

偏移量 s 和升高量 H 可利用铣床横向、垂向刻度盘控制，也可在刀坯上预先划出 s 和 H 的位置，按划线对刀法进行铣削。当工件图样上只标注棱边宽度 f 而未给出槽深 h 时，可采用试切对刀法，逐步达到所要求的棱边宽度。

4）铣削前角 $\gamma_o>0°$ 的刀具齿背（见图 7-299）。当 $\gamma_o>0°$ 时，铣削齿背工件应转过的角度 ϕ 可按下式计算：

$$\phi = 90° - \theta_1 - \alpha_1 - \gamma_o$$

式中　θ_1——单角铣刀廓形角（°）；

α_1——刀具齿背角（°）。

必须指出，在铣削刀具齿背时，无论是加工前角 $\gamma_o=0°$ 还是 $\gamma_o>0°$ 所计算出的 ϕ 角数值，还需换算出分度头分度手柄的转数 $n=(n=\phi/9°)$。当计算得到的 ϕ 是正值时，工件应顺时针转过 ϕ 角度（见图7-297、7-299）；如果 ϕ 是负值，则工件应逆时针转过角度 ϕ。

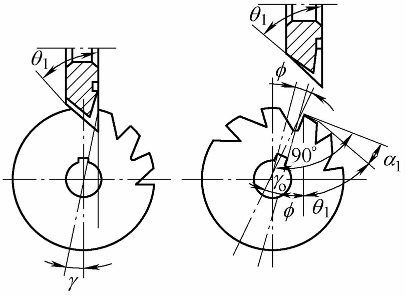


图7-299 铣削前角 $\gamma_o>0°$ 的刀具齿背

（2）用双角铣刀铣削齿槽 用双角铣刀铣削齿槽的加工步骤与用单角铣刀基本相同。为了减小偏移量 s，常用不对称双角铣刀的小角度锥面刃口铣削被加工刀具的前刀面。选用的铣刀廓形角 θ 及刀尖圆弧均应与工件的槽形一致。为避免繁琐的调整计算，通常采用划线对刀法加工，其步骤如下：

1）工件装夹校正后，用高度游标尺在工件端面划出基准中心线（见图7-300a）。

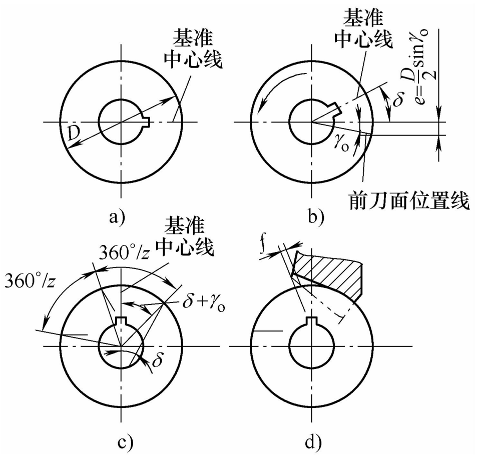


图7-300 用划线对刀法调整双角铣刀的切削位置

a）步骤一 b）步骤二 c）步骤三 d）步骤四

2）利用分度头使工件逆时针转过一个等于双角铣刀小角度 δ 的角度（见图7-300b），并划出第一条前刀面的位置线。当 $\gamma_o=0°$ 时，按水平中心线高度划线；当 $\gamma_o>0°$ 时，应偏移水平中心线一个距离 e 划线，$e=D/2\sin\gamma_o$。

3）利用分度头将工件顺时针转动，并按齿槽角 ε（$\varepsilon=360°/z$）分度（见图7-300c），划出各个前刀面的位置线。再转动工件，使已划出的基准中心线处于垂直位置。

4）横向移动工作台，调整双角铣刀的切削位置进行试切（见图7-300d）。当双角铣刀的小角度锥面刃口刚好切至前刀面位置，并使棱边宽度 f 和槽深 h 同时达到要求时，即找到了双角铣刀的切削位置。

2. 圆柱螺旋齿刀具齿槽的铣削

圆柱螺旋齿刀具的铣削常在卧式万能铣床上进行，其交换齿轮的计算与调整可参见本章7.3.8节的相关内容。但在铣削及调整过程中，要考虑前角、齿槽角及螺旋角等因素。对于精度要求高的螺旋形齿槽，应采用专用的成形铣刀；而对于一般精度的刀具，可采用角度铣刀进行加工。虽然单角铣刀和双角铣刀都能加工出符合要求的螺旋齿槽，但应根据其不同的铣削特点和工件的具体要求来进行适当的选择。

（1）铣刀的选择

1）用双角铣刀铣削（见图7-301a）。用双角铣刀铣削时，虽然双角铣刀端面齿切削表面的曲率半径 ρ 较小，在保证被加工刀具前角 γ_o 的情况下，但仍然受到曲率半径 ρ 的影响，前刀面的下部因干涉而出现“根切”，使前刀面呈凸肚状（见图7-301b）。这将会影响被加工刀具以后切削时的卷屑形状和刀齿的强度。但由于双角铣刀铣削时的干涉现象相对较小，而且被加工齿槽的表面质量较好，故铣削圆柱面螺旋齿时，一般常选用双角度铣刀。

2）用单角铣刀铣削（见图7-301c）。由于单角铣刀端面齿切削表面的曲率半径 ρ 较大，干涉也相应增大，即不仅出现“根切”现象，还会使齿槽切削刃产生过切（见图7-301d）。因此，一般不选用单角铣刀。但是将工作台转动角度大于工件螺旋角 β 时，单角铣刀却以一个假想的椭圆与工件前刀面接触，即

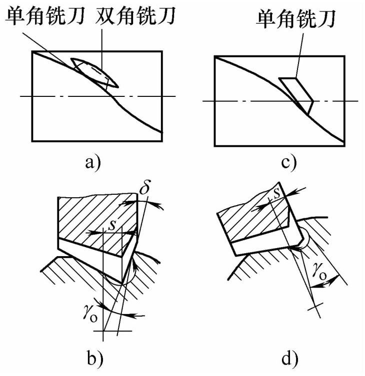


图 7-301 角度铣刀廓形与齿槽法向截面形状的关系
a）用双角铣刀铣削 b）双角铣刀铣削时产生的“根切”现象 c）用单角铣刀铣削 d）单角铣刀铣削时产生的“根切”现象

只有刀尖与前刀面接触，从而铣出的前刀面呈凹圆弧状，使齿槽符合加工的要求。但其前角 γ_o 不易控制，且齿槽表面质量也较差。

3）角度铣刀结构与尺寸的选择。

① 铣刀廓形角 θ_1 的选择。铣刀的廓形角 θ_1 约等于工件的槽形角，如选用双角铣刀，其角度 δ 应尽量小，一般取 $\delta=15°$。

② 铣刀刀尖圆弧半径 r 的选择。角度铣刀的刀尖圆弧半径 r_o 应小于工件槽底的圆弧半径 r。根据工件螺旋角的大小，取 $r_o=(0.5\sim0.9)r$。当螺旋角 β 增大时，r_o 应减小。

③ 铣刀直径的选择。为了减少铣削时工件前刀面干涉的“根切”量，在允许的情况下，尽可能选用较小的铣刀直径。

4）角度铣刀切削方向的选择。角度铣刀有左旋角度铣刀和右旋角度铣刀之分（见图 7-302）。为了减小被加工刀具前刀面的表面粗糙度值，在铣削螺旋槽时，工件的前刀面应靠向双角铣刀的小角度锥面刃或单角铣刀的端面刃（见图 7-303）。若采用逆铣方式，铣削右螺旋槽时，应选择右旋角度铣刀；而铣削左螺旋槽时，应选择左旋角度铣刀。若采用顺铣方式，则与此相反。

（2）工作台的旋转方向与转角的确定

1）工作台旋转方向的选择。为保证铣削时螺旋槽的方向与角度铣刀的旋转平面方向一致，从而使工件螺旋槽的法向截面形状接近角度铣刀的廓形，当铣削右螺旋槽时，工作台按逆时针方向转动；而铣削左螺旋槽时，工作台按顺时针方向转动（见图 7-197）。

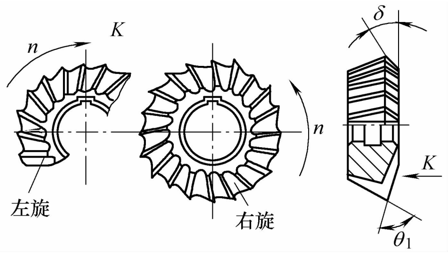


图 7-302 左旋角度铣刀和右旋角度铣刀的辨别

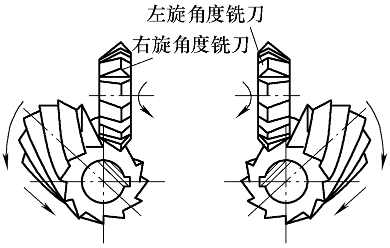


图 7-303 角度铣刀切削方向的选择

2）工作台转角大小的确定。

① 若采用逆铣方式，且用右旋角度铣刀加工右螺旋槽，或左旋角度铣刀加工左螺旋槽时，如果工件螺旋角 $\beta<20°$，工作台转角 β_1 等于工件螺旋角 β；如果螺旋角 $\beta>20°$，工件表面和槽底圆柱处的螺旋角差值 $\Delta\beta$ 较大。为避免因 $\Delta\beta$ 值大而增加工件齿槽底部的“根切”量，故工作台的转角 β_1 应小于工件的螺旋角 β，其数值可按下式计算：

$$\tan\beta_1=\tan\beta\cos(\delta+\gamma_n)$$

式中 β——工件螺旋角（°）；

β_1——工作台的转角（°）；

δ——双角铣刀的小角度（°）；

γ_n——工件的法前角（°）。

② 当不能满足角度铣刀的切向选择原则时，例如在逆铣时只能用左旋角铣刀加工右螺旋槽，此时若使 $\beta_1<\beta$，则被加工刀具刃口处

会发生严重干涉。考虑应避免工件刃口因过切而影响被加工刀具的切削性能，因而令工作台的转角 β_1 比工件的螺旋角 β 大 2°～4°，以减少干涉的影响。

③ 当采用单角铣刀加工时，无论何种情况，工作台的转角 β_1 一般应比工件的螺旋角 β 大 1°～4°。由于 β_1 的大小还影响工件的前角，故 β_1 的数值可通过试切来加以修正。

（3）铣刀切削位置的调整

1）用双角铣刀铣削。用双角铣刀加工圆柱面螺旋槽的切削位置见图 7-304，常采用图

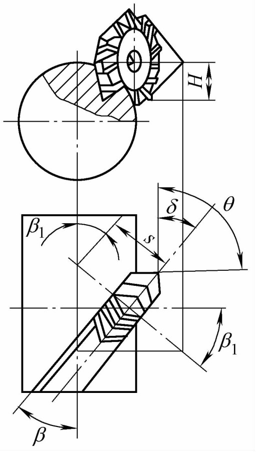


图 7-304 用双角铣刀加工圆柱面螺旋槽的切削位置

7-300 中的划线对刀法来确定铣刀的工作位置，以避免繁琐的计算和减少试切调整的次数。但前刀面位置线相对工件中心的偏距 s 应按下式计算：

$$s = \frac{D}{2}\sin\gamma_f$$

式中 D——工件外径（mm）；

γ_f——工件端面前角（°）。

其中，工件端面前角 γ_f 与法前角 γ_n 之间的关系为

$$\tan\gamma_f = \frac{\tan\gamma_n}{\cos\beta}$$

式中 β——工件的螺旋角（°）。

用这种方法调整双角铣刀的切削位置，具体操作与铣削圆柱面直齿刀具基本相同，但必须在交换齿轮装置安装和工作台回转角度调整后才能进行试切调整，以保证双角铣刀和工件之间的正确相对位置。

2）用单角铣刀铣削。用单角铣刀铣削时，由于干涉现象比较严重，加工后工件前刀面的偏距会大于工作台移动的偏距量。因此，在实际加工中，可先按铣削直齿槽的计算公式 $\left[\text{即 } s = \frac{D}{2}\sin\gamma_o, H = \frac{D}{2}(1 - \cos\gamma_o + h)\right]$ 求出 s 及 H 值，并进行调整试切，然后根据前角和齿深的测量值再作适当调整，逐步达到正确的切削位置。

此外，铣削圆柱螺旋槽时的交换齿轮计算参见本章 7.3.8 节部分。

（4）错齿三面刃铣刀螺旋齿槽的铣削

错齿三面刃铣刀的螺旋齿槽是左旋和右旋刀齿交错排列在圆周上，铣削其螺旋槽的操作方法虽与一般螺旋齿刀具相同，但应注意以下几点：

1）由于螺旋槽有左、右之分，故最好选用两把切削方向相反的角度铣刀，这样分别铣出的齿槽前刀面的表面质量较好。

2）一般常用端面划线对刀法调整角度铣刀的位置，经计算求出铣削时的偏移量 s 和升高量 H 后（见图 7-304 及其计算说明），对左、右螺旋槽应分别按齿槽在端面上的位置划线并作出记号，以便于辨认。

3）为能获得凹形的齿槽前刀面，若选用了两把铣削方向相反、角度相同的铣刀加工，则工作台两次转角 β_1 的数值应相同，并且比工件螺旋角 β 大 2°～3°。

4）由于左、右旋刀齿交错排列在圆周上，因此每铣好一个齿槽，工件应按两倍的齿间角（$360°/z \times 2$）进行分度。

5）在被加工刀具的宽度较小或单件加工时，可将螺旋槽铣成直槽。则只需将工件分别按螺旋方向校正，即可铣出近似螺旋槽的斜槽，从而简化调整计算。

6）批量生产时，尽量采用多件串装的方式进行铣削（见图 7-305）。工件与心轴之间必须用键连接（见图 7-305a）。当一个方向所有的齿槽铣完后，将工件依次取下，再按相反的顺序串装在心轴上（见图 7-305b），接着再

铣削工件另一方向的齿槽。必须注意，串装时工件不可翻身。

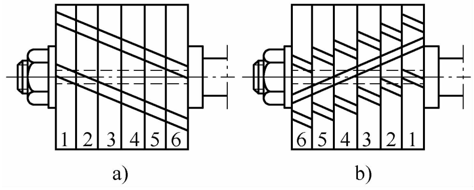


图 7-305 错齿三面刃铣刀的多件串装

a）铣削步骤一 b）铣削步骤二

1～6—工件

3. 端面齿槽的铣削

具有端面齿的刀具分为直齿和螺旋齿两类：圆周刀齿是直齿的刀具，其端面齿的前角为零度；而圆周刀齿是螺旋齿的刀具，其端面齿的前角大于零度。在铣削端面齿槽时，还应注意使棱边宽度在切削刃全长上保持均匀一致。

（1）直齿刀具端面齿槽的铣削

1）铣刀的选择。铣削直齿刀具端面齿槽时，一般用廓形角与槽形角相等的单角铣刀。如加工直齿三面刃铣刀的两端面齿，应选用两把角度相等、切削方向相反的角度铣刀。由于工件装夹的原因，造成铣削端面齿时的退刀空间狭小，故单角铣刀的外径尽量选得小些。

2）工件的装夹。盘形工件的装夹方式与铣削离合器时的装夹方式相同（见图 7-272）；而带锥柄的刀坯，则可利用锥柄、或配上过渡锥套插入分度头主轴锥孔内。工件装夹时，应校正工件端面的跳动及外圆与分度头主轴轴线的同轴度。

3）计算分度头仰角 α。为保证端面切削刃棱边的宽度一致，端面齿槽一定要铣成外宽内窄、外深而内浅。故在铣削时，必须将被加工刀具的端面仰起一个角度 α。由图 7-306 可见，分度头仰角 α 可按下式计算：

$$\cos\alpha = \tan\left(\frac{360°}{z}\right)\cot\theta$$

式中 z——工件齿数；

θ——工件端面齿槽形角（°）。

为简化计算，铣端面齿时的分度头仰角 α 值可从表 7-66 中查出。但由于表中的角度数值未考虑被加工刀具端面副偏角的影响，所以在实际加工中，还需要作适当调整，才能保证端面齿棱边的宽度均匀一致。

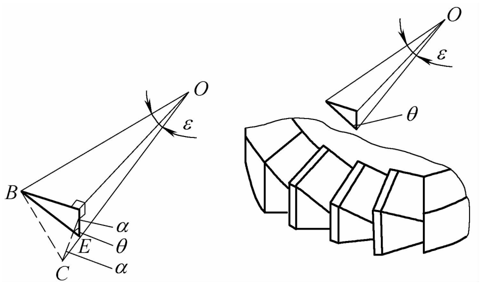


图 7-306 分度头仰角 α 的计算

4）铣削位置的调整。当工件圆周齿前角 $\gamma_o = 0°$时，单角铣刀的端面切削刃应通过工件中心，然后转动分度头分度手柄，使工件前刀面与单角铣刀端面切削刃对准后进行铣削。当工件圆周齿前角 $\gamma_o > 0°$时，在单角铣刀端面切削刃对准工件中心后，还需将工作台向铣刀锥面方向移动一个偏移量 s（$=D/2\sin\gamma_o$）（见图 7-307），然后转动分度头分度手柄，使工件前刀面与单角铣刀端面切削刃对准后，进行试铣削。

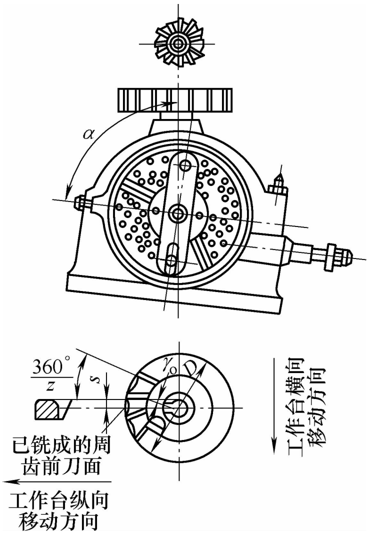


图 7-307 铣端面齿时铣刀与工件的相对位置

表 7-66 铣端面齿时的分度头仰角 α 值

工件齿数	工作铣刀廓形角 θ_1							
	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
5	74°23′	57°08′	34°24′	—	—	—	—	—
6	81°17′	72°13′	62°2′	50°55′	36°08′	—	—	—
8	84°59′	79°51′	74°27′	68°39′	62°12′	54°44′	45°33′	32°57′
10	86°21′	82°38′	78°59′	74°40′	70°12′	65°12′	59°25′	52°26′
12	87°06′	84°09′	81°06′	77°52′	74°23′	70°32′	66°09′	61°01′
14	87°35′	85°08′	82°35′	79°54′	77°01′	73°51′	70°18′	66°10′
16	87°55′	85°49′	83°38′	81°20′	78°52′	76°10′	73°08′	69°40′
18	88°10′	86°19′	84°24′	82°27′	80°14′	77°52′	75°14′	72°13′
20	88°22′	86°43′	85°00′	83°12′	81°17′	79°11′	76°51′	74°11′
22	88°32′	87°02′	85°30′	83°52′	82°08′	80°14′	78°08′	75°44′
24	88°39′	87°18′	85°53′	84°24′	82°49′	81°06′	79°11′	77°01′
26	88°46′	87°30′	86°13′	84°51′	83°24′	81°49′	80°04′	78°04′
28	88°51′	87°42′	86°30′	85°14′	83°53′	82°26′	80°48′	78°58′
30	88°56′	87°51′	86°44′	85°34′	84°19′	82°57′	81°26′	79°44′
32	89°00′	87°59′	86°56′	85°51′	84°37′	83°24′	82°00′	80°24′
34	89°04′	88°07′	87°08′	86°06′	85°00′	83°48′	82°29′	80°59′
36	89°07′	88°13′	87°18′	86°19′	85°24′	84°10′	82°54′	81°29′
38	89°10′	88°19′	87°26′	86°31′	85°32′	84°28′	83°17′	81°57′
40	89°12′	88°24′	87°34′	86°42′	85°46′	84°45′	83°38′	82°22′

（2）螺旋齿刀具端面齿槽的铣削

1）调整计算。螺旋齿刀具的端面齿有一定的前角，为了使端面齿的前刀面与螺旋齿的前刀面光滑连接，除了要使工作台横向偏移一个 s 距离和分度头主轴仰起 α 角度外，分度头主轴还要在平行于工作台横向移动方向的垂直平面内倾斜一个 ϕ 角度。仰角 α、倾斜角 ϕ 和偏移量 s 的近似计算公式如下：

$$\cos\alpha = \tan\frac{360°}{z}\cot(\gamma_n + \theta)$$

$$\tan\phi = \tan\gamma_n \sin\alpha$$

$$s = \frac{D}{2}\sin\lambda_s$$

式中 z——工件齿数；

θ——端面齿槽形角；

λ_s——端面刃口刃倾角；

D——工件外径（mm）；

γ_n——端面齿法前角。

由于上述计算所得数值为近似值，因而试切时，可先按近似值调整分度头和工作台，试铣几个端面齿槽，然后根据端面切削刃棱边宽度、内窄外宽的情况对分度头仰角 α 进行增减，直至棱边宽度在全长内均匀一致。同时，还需根据端面齿的前刀面与螺旋齿的前刀面的连接情况，对偏移量 s 和倾斜角 ϕ 作适当的调整。

2）倾斜角 ϕ 的调整。倾斜角 ϕ 的调整方法通常有以下三种：

① 采用斜垫铁（见图 7-308a）在卧式铣床上加工时，可在分度头和工作台之间垫上一块斜度为 ϕ 的垫铁，使分度头在平行于工作台横向移动方向的垂直平面内倾斜一个 ϕ 角度。

② 改变分度头仰角（见图 7-308b）。当在立式铣床上加工螺旋齿刀具的端面齿时，可改变分度头仰角为 ϕ 值，而 α 值是通过分度头在工作台水平面内转过一定的角度来实现。

③ 扳转工作台（见图 7-308c）。在卧式铣床上铣削螺旋齿刀具的端面齿时，还可以通过扳转工作台来实现调整，即将工作台扳转 ϕ 角，转动的方向由工件圆周齿的螺旋方向决定。铣削由工作台作进给运动实现，故分度头主轴需回转 $90° - \alpha$ 的仰角。

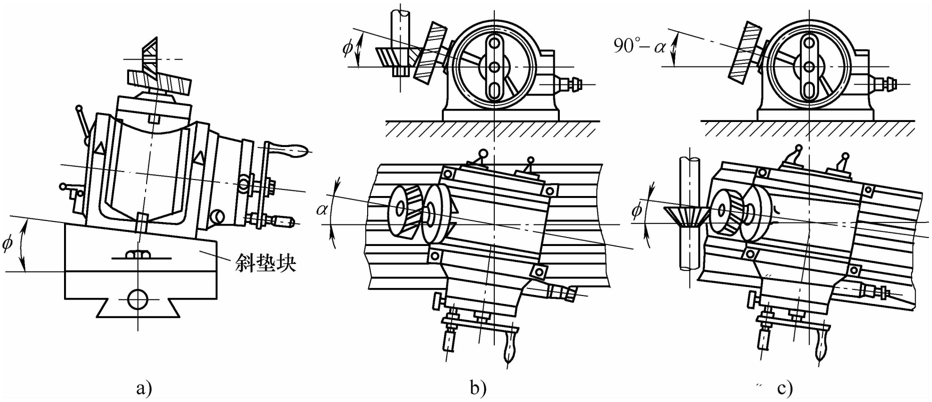


图 7-308 倾斜角 ϕ 的调整方法

a）采用斜垫铁 b）改变分度头仰角 c）扳转工作台

3）必须指出，铣削端面齿槽时，除以上的计算、调整外，还需要注意以下事项：

① 为了使被加工刀具的刀齿均匀分布，故要求用作分度的分度头必须具有较高的等分精度，否则端面齿与圆周齿的前刀面很难平滑连接。如果连接不好，可将分度头作微量调整。为便于调整，应尽量选择孔数较多的孔圈，也可松开分度头紧固螺钉，将分度盘连同分度手柄转过一个小角度，使工件得到微量的转动。

② 为了保证端面齿棱带宽度的磨削余量，铣削时，可将棱带宽度控制在 0.5f 左右。若刀坯端面未按要求车出内锥面（即 $\phi=1°\sim2°$），则按 α 角度加工后，棱边宽度会被铣成外宽内窄，但可以在磨削时予以修整。

③ 如果刀具的端面齿背呈折线，则棱边的宽度将由铣削齿背时予以保证，而齿槽铣削时的 α 角度值，可按端面齿槽槽底角相对于工件轴线的斜角 δ 来调整。

④ 由于铣削端面齿槽时铣刀的退让空间很小，故除了选用较小直径的铣刀外，还应注意控制铣削行程，以免碰伤其他刀齿。特别是用一把单角铣刀加工较小直径工件的不同方向端面齿时，更应注意限定铣削的起始和终止位置。

⑤ 端面齿的加工余量较小，主要是通过试切法进行加工。故最好是选用万能工具铣床（见图 1-11），能使调整方便，且加工精度也较高。

4. 锥面直齿刀具齿槽的铣削

直齿锥度铰刀、角度铣刀是常见的锥面直齿刀具，其齿槽的铣削与端面齿槽的铣削有很多相似之处。

（1）前角 $\gamma_0=0°$ 的锥面直齿槽的铣削 直齿锥度铰刀（见图 7-309）是这类刀具的典型代表，常用试切法和标准铰刀对刀法进行加工。加工中应注意以下事项：

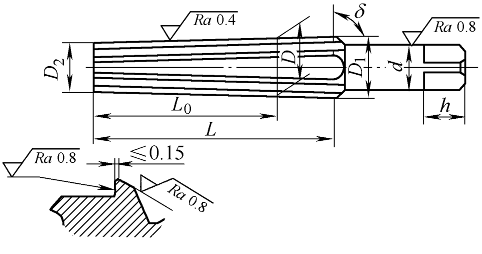


图 7-309 直齿锥度铰刀

1）铣刀的廓形角 θ_1 按工件的齿槽角确定，但其直径不宜过大，以免铣出齿槽的延伸部分过长。

2）若采用试切法加工，工件校正时，应将工件上素线与工作台校正平行；若采用标准铰刀对刀法，选用的标准铰刀总长度应与工件相等。校正时，先将铰刀前刀面与工作台面校正至垂直位置，然后校正标准铰刀的齿槽底与工作台面平行。

3）调整试铣时，若采用试切法，可用划线对刀，使铣刀的侧刃通过工件中心，并试铣

出两条较浅的齿槽，根据棱边的宽度进行适当调整。若采用标准铰刀对刀法校正时，将铣刀对准标准铰刀的齿槽，使铰刀前刀面与铣刀的侧刃贴合，铰刀齿槽底与铣刀刀尖位置接触，便可一次确定铣削工件的位置。

4）锥度铰刀可分为等分齿锥度铰刀和不等分齿锥度铰刀。常用的为不等分齿锥度铰刀，即相邻的中心角不等而相对的中心角相等（见图 7-310）。铰刀刀齿的不等分分度及分度头应转过的转数可从表 7-67 中查得。不等分齿铰刀的铣削深度是不相等的，即中心角大的刀齿铣得深些，中心角小的刀齿铣得浅些，以保证全部刀齿的切削刃有相等的棱边宽度。

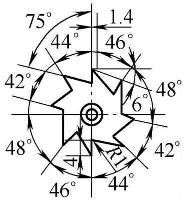


图 7-310　不等分齿铰刀分齿角度示例

表 7-67　铰刀刀齿的不等分分度及分度

（分度头定数 40，铣 6～16 齿铰刀时，取用 49 孔分度盘）

铰刀齿数	第一个角度	转数	孔数	第二个角度	转数	孔数
6	58°2′	6	22	59°53′	6	32
8	42°	4	32	44°	4	44
10	33°	3	34	34°30′	3	41
12	27°30′	3	3	28°30′	3	8
14	23°30′	2	30	24°15′	2	34
16	20°30′	2	14	21°	2	17

铰刀齿数	第三个角度	转数	孔数	第四个角度	转数	孔数
6	62°5′	6	44	—	—	—
8	46°	5	6	48°	5	16
10	36°	4	—	37°30′	4	8
12	29°30′	3	14	30°30′	3	19
14	25°	2	38	25°45′	2	43
16	21°30′	2	20	22°15′	2	23

（续）

铰刀齿数	第五个角度	转数	孔数	第六个角度	转数	孔数
6	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—
10	39°	4	15	—	—	—
12	31°30′	3	24	32°30′	3	30
14	26°30′	2	46	27°	3	—
16	22°45′	2	26	23°15′	2	29

铰刀齿数	第七个角度	转数	孔数	第八个角度	转数	孔数
6	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—
14	28°	3	5	—	—	—
16	24°	2	32	24°45′	2	35

（2）前角 $\gamma_e > 0°$ 的锥面直齿槽的铣削

对于精度要求较高的此类刀具（如锥度铰刀），切削位置必须落在圆锥母线上，即前刀面必须通过锥顶的平面；而像精度要求一般的角度铣刀，切削位置没有上述的严格要求。铣削单角铣刀锥面直齿槽时（见图 7-311），除选择适当廓形的单角铣刀外，还需进行下述的调整计算：

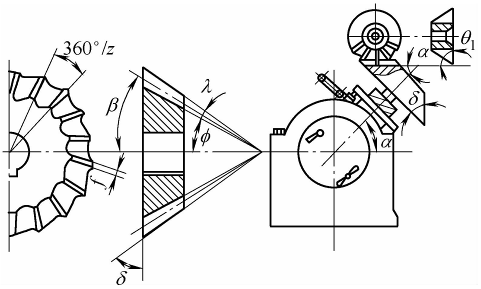


图 7-311　铣削单角铣刀锥面直齿槽

1）工作台横向偏移量 s 的计算。角度铣刀的前角 γ_o 是前刀面与通过刀尖的径向平面之间的夹角，因此，偏移量 s 的计算和铣削圆柱面直齿刀具齿槽时相同，即可用式 $s = D/2\sin\gamma_o$ 计算而得。

2）分度头仰角 α 的计算。铣削时，为保证铣削宽度在全长上均匀一致，分度头必需仰起一个角度 α。由图 7-311 可知：

$$\tan\beta = \cos\frac{360°}{z}\cot\delta$$

$$\sin\lambda = \tan\frac{360°}{z}\cot\theta\sin\beta$$

$$\alpha = \beta - \lambda$$

式中 z——工件齿数；

δ——工件外锥面锥度角（°）；

θ——工件锥面齿齿槽角（°）；

β，λ——中间计算量（°）。

3）吃刀量 h 的计算。吃刀量 h 可以通过试切法确定，也可用下式计算：

$$h = \frac{R\cos(\alpha + \delta)}{\cos\delta}$$

式中 α——分度头主轴仰角（°）；

δ——工件外锥面的锥度角（°）；

R——工件大端半径（mm）。

单角铣刀的锥面齿槽角一般是 50°～90°，而铣削各种锥度角 δ 的角度铣刀的锥面齿槽时，都要计算分度头仰角 α。为简化计算，可由表 7-68 中查得 δ = 45°、δ = 60° 两种单角铣刀加工时分度头的仰角 α 值。

5. 刀具齿槽铣削中常见的质量问题及原因

刀具齿槽铣削中常见的质量问题及原因见表 7-69。

表 7-68 两种单角铣刀加工时分度头的仰角 α 值 单位：（°）

δ = 45°									
齿数 z	开齿用角度铣刀的角度								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
12	40°54′	39°00′	37°04′	35°05′	33°00′	30°48′	28°18′	25°33′	20°24′
14	42°01′	40°24′	38°46′	37°04′	35°17′	33°23′	31°18′	28°58′	26°19′
16	42°44′	41°19′	39°54′	38°25′	36°52′	35°18′	33°24′	31°23′	29°05′
18	43°13′	41°58′	40°42′	39°23′	38°01′	36°33′	34°57′	33°10′	31°09′
20	43°34′	42°27′	41°18′	40°08′	38°53′	37°35′	36°09′	34°33′	32°44′
22	43°49′	42°48′	41°46′	40°42′	39°34′	38°23′	37°04′	35°38′	35°59′
24	44°00′	43°04′	42°07′	41°09′	40°07′	39°02′	37°50′	36°30′	35°01′
26	44°09′	43°17′	42°25′	41°31′	40°34′	39°34′	38°28′	37°14′	35°52′
28	44°16′	43°28′	42°40′	41°49′	40°57′	39°55′	39°00′	37°52′	36°36′
30	44°22′	43°37′	42°52′	42°05′	41°16′	40°24′	39°27′	38°24′	37°12′
32	44°27′	43°45′	43°03′	42°19′	41°29′	40°44′	39°51′	38°51′	37°44′

δ = 60°									
齿数 z	开齿用角度铣刀的角度								
	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°
12	26°34′	25°16′	23°57′	22°36′	21°11′	20°39′	18°00′	16°09′	14°03′
14	27°29′	26°22′	25°14′	24°04′	22°50′	21°32′	20°06′	18°22′	16°44′
16	28°04′	27°05′	26°06′	25°04′	24°00′	22°51′	21°36′	20°13′	18°39′
18	28°29′	27°37′	26°44′	25°49′	24°52′	23°50′	22°44′	21°30′	20°06′
20	28°46′	27°59′	27°11′	26°22′	25°30′	24°35′	23°35′	22°29′	21°14′
22	28°59′	28°16′	27°33′	26°48′	36°01′	25°11′	24°16′	23°16′	22°07′
24	29°09′	28°30′	27°50′	27°09′	26°26′	25°40′	24°50′	23°54′	22°52′
26	29°16′	28°40′	28°03′	27°25′	26°45′	26°03′	25°17′	24°26′	23°28′
28	29°22′	28°48′	28°14′	27°39′	27°03′	26°23′	25°42′	24°52′	23°59′
30	29°27′	28°56′	28°24′	27°51′	27°16′	26°39′	26°00′	25°15′	24°25′
32	29°31′	29°02′	28°32′	28°01′	27°28′	26°54′	26°16′	25°35′	24°48′

表 7-69 刀具齿槽铣削中常见的质量问题及原因

现象	原因
前角值偏差过大	1）偏移量 s 计算错误 2）机床偏移距离不准确 3）工作台偏移方向错误 4）用划线法对刀时，划线错误 5）铣削螺旋齿时，切削方向选择不正确，过切量大 6）铣削螺旋齿时，工作台转角选择不当，过切量大
棱带不符合要求	1）升高量 H 计算错误或调整不当 2）用试切法时，试切量过深 3）铣削齿背时，转角 φ 不准确或铣切过深 4）工作铣刀廓形角偏差过大 5）工件坯料或夹具校正精度差 6）工件装夹不合理，铣削时走动或发生形变 7）铣削端面齿或锥面齿时，仰角 α 不正确
分齿不均匀	1）分度装置有误差或操作错误 2）铣削时，工件松动 3）工件与夹具同轴度差
齿槽形状偏差大	1）铣刀廓形不正确 2）用角度铣刀铣螺旋齿槽时，工作台转角不恰当 3）铣刀刀尖圆弧选择不当
刀齿碰坏或工件其他部位有残留刀痕	1）铣削过程中，工件松动或操作不慎 2）工作铣刀直径或方向选择不当，影响退刀 3）铣削端面齿时，分度装置有误差或校正对刀不准确

7.3.18 成形面、椭圆柱面和球面的铣削

1. 成形面的铣削

（1）用双手配合进给铣削曲线外形　图 7-312 所示为带曲线外形的工件，可以在立式铣床上用双手分别控制纵向和横向进给来铣削曲线外形。加工前，先在工件上划出加工处的外形轮廓曲线，并在线的中间打上样冲眼。

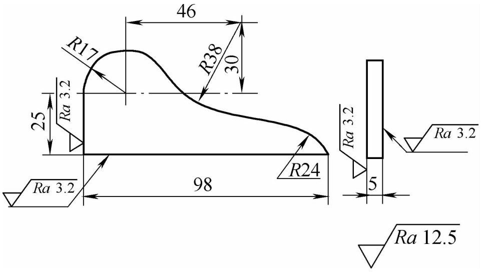


图 7-312 带曲线外形的工件

1）工件的装夹。图 7-312 所示的工件，可用压板夹紧在工作台台面上。为了防止铣刀损伤工作台台面，要在工件下面垫上平行垫铁。

2）铣刀的选择。立铣刀的半径应等于或小于工件最小的凹圆弧半径，否则曲线外表面会被铣伤。但铣削凸圆弧表面时，铣刀的半径不受限制。在允许的条件下，应尽量选择直径较大的铣刀，以保证铣刀有足够的刚性。

3）铣削方法与注意事项。铣削时，双手同时操纵铣床的纵向、横向手柄，配合协调。铣削过程中，必须使铣刀在工作台纵向、横向进给时保持逆铣状态，以防止因顺铣导致工作

台发生窜动而折断铣刀。一般应先粗铣并留有0.5~1mm的精铣余量，再进行精铣。精铣时，可采用较高的切削速度，以提高表面的加工质量。并特别注意：在铣至凸、凹圆弧连接处，掌握好进给方向的变换，防止该处产生“深啃”或“凸起”现象。此外，应保证铣去工件上样冲眼的一半。

（2）用回转工作台铣削曲线外形　图7-313所示的工件，其 $\phi24$ 孔、上下平面及端面 M 均已加工完成，现需要铣削 $R28$mm 的圆弧面及与其相切的 A、B 两面。其加工方法如下：

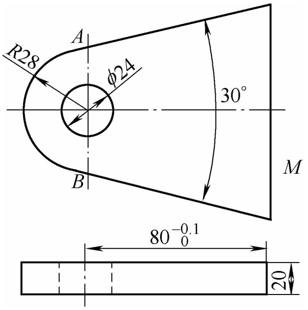


图7-313　工件的形状与尺寸

1）工件的安装（见图7-314）。工件安装在立式铣床工作台上的回转工作台上，回转工作台的主轴锥孔内装入按工件上 $\phi24$mm 孔配制的心轴。工件套入心轴后，先校正端面 M，使之与纵向工作台进给方向平行。当工件数量较多时，可加装定位块的限制 M 面的位置。然后将工件用心轴的螺母及压板、螺钉紧固。安装时，要注意工件的上、下两面应与工作台台面平行。为防止铣刀切削时损伤工作台，可在工件下面垫上适当厚度的平行垫铁。

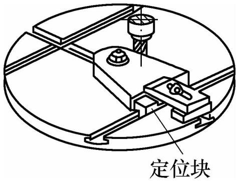


图7-314　工件的安装

2）铣刀的选择。由于是铣削凸圆和直线表面，铣刀直径无特殊限制。

3）铣削方法。图7-313所示工件的铣削步骤。见图7-315。

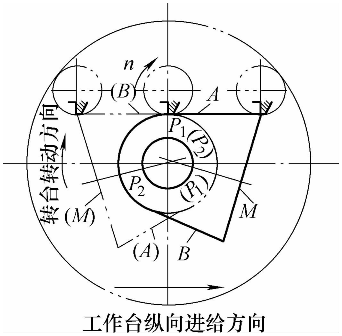


图7-315　工件的铣削步骤

①　将回转工作台顺时针方向旋转15°，使工件上的 A 面与纵向工作台进给方向平行。

②　调整横向工作台，通过纵向工作台的进给运动，由 M 面与 A 面的相交处开始铣削 A 面。当铣至 P_1 处时，立即停止工作台的纵向进给运动。

③　在停止纵向进给运动的同时，令回转工作台顺时针方向旋转，铣削 $R28$mm 的圆弧面。

④　当回转工作台转过150°时，即已铣至圆弧面与 B 面的交点 P_2，应停止回转工作台的圆周进给运动，并立即开始工作台的纵向进给运动，直至将 B 面铣完。

必须指出，铣削曲线外形的顺序一般应遵循以下基本原则：

①　凸圆弧与凹圆弧相切时，应先加工凹圆弧面。

②　凸圆弧与直线相切时，应先加工直线表面。

③　凹圆弧与直线相切时，应先加工凹圆弧面。

④　凸圆弧与凸圆弧连接组成的曲线外形，应先加工半径大的凸圆弧面。

⑤　凹圆弧与凹圆弧连接组成的曲线外形，应先加工半径小的凹圆弧面。

（3）用仿形法铣削曲面

1）用手动进给仿形铣削曲面（见图7-316）。在立式铣床上使用模型及靠模铣刀，手动进给铣削直线成形面。工件和模型一起装在工作台上（或夹具中），然后用手动进给进行铣削。模型的尺寸一般与工件相同，模型应采

用优质工具钢制成，以使其具有足够的硬度和耐磨性。图 7-317a 所示为模型。模型工作面应具有较小的表面粗糙度值，与工件定位面贴合部分必须具有一定的斜度（或垫入垫片），以避免铣刀刃口触及模型而损坏模型的工作面。

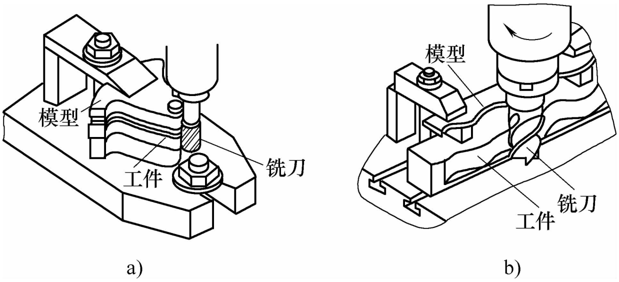


图 7-316 用手动进给仿形铣削曲面

a）示意图一 b）示意图二

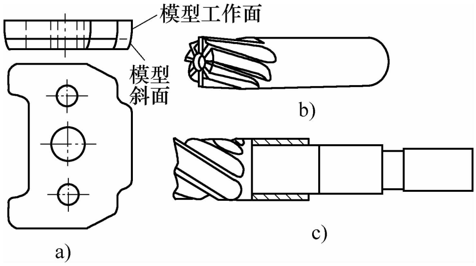


图 7-317 模型与靠模铣刀

a）模型 b）带柄立铣刀 c）柄部带衬套铣刀

靠模铣刀通常选用柄部较长的带柄立铣刀，见图 7-317b。当模型与工件完全相同时，应使铣刀与模型接触的柄部直径与切削部分的直径相等。为了减少模型表面的磨损，可以在铣刀柄部装上衬套（见图 7-317c）。衬套一般用青铜或耐磨铸铁制造，内径与铣刀柄部过盈配合，外径与铣刀切削部分的直径相等。为了减少铣刀柄部与模型表面的摩擦，应考虑选用较低的铣削速度，并充分供给润滑性能良好的切削液。当工件材料不宜加注切削液时，可以在铣刀柄部与模型表面之间涂抹润滑脂。

铣削应分粗铣和精铣。粗铣时，铣刀柄部外圆应和模型表面始终保持大致均等的距离，以便使被加工曲面留下合适的精铣余量。精铣时，应使铣刀柄部外圆始终和模型表面相接触，使铣刀圆柱面上的刀齿将工件的曲面逐渐铣成。

2）用附加仿形装置铣削曲面。在成批生产中，为了提高加工质量和生产率，制作一个与工件形状相同或相似的模型，利用它使工件（或铣刀）沿着它的轮廓作进给运动，从而铣出工件的曲线外形。图 7-318 所示为用附加仿形装置来铣削连杆大头的曲线外形。仿形装置中除有模型 6 外，还使用了重锤 1 和滚轮 2，滚轮在重锤的作用下，始终压着模型 6。模型 6 安装在活动的工作台 5 上，被加工的连杆 4 也固定在工作台 5 上。当连杆 4 随着回转工作台转动（手动或机动）而作圆周进给时，铣刀 3 就将连杆大头铣出符合图样要求的曲线外形。

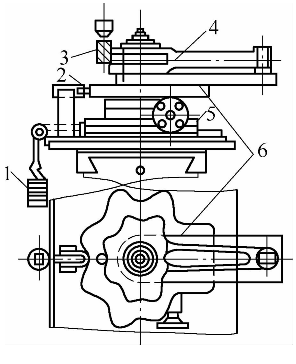


图 7-318 用附加仿形装置铣削连杆大头的曲线外形

1—重锤 2—滚轮 3—铣刀 4—连杆 5—工作台 6—模型

必须指出，精铣时铣刀、滚轮直径及铣刀、滚轮和模型之间的相对位置必须和模型设计时确定的数据相符，才能铣出符合图样要求的曲线外形。此外，滚轮和模型工作表面之间

要注入润滑剂，不能让切屑嵌入模型和滚轮之间。它们之间的压力要适当，压力过大，会增加模型的磨损；压力过小，可能会引起滚轮在铣削过程中脱离模型，产生铣削振动而影响工件的加工精度和表面质量。附加仿形装置的滑动导轨滑动面间隙应调整适当，防止在仿形铣削中摩擦阻力过大而影响成形面的铣削精度。

3）用成形铣刀铣削成形面。用成形铣刀铣削花键轴及直齿圆柱齿轮的齿形，都是用成形铣刀铣削成形面的实例。其加工方法及特点可参阅本章图 7-177、图 7-185 及相关说明。

2. 椭圆柱面的铣削

由图 7-319 可见，椭圆柱面的几何特点是其端截面是椭圆，而垂直于工件轴线成 α 角度的 $A—A$ 截面是一个圆。椭圆的长轴为 D，而短轴 $d=D\cos\alpha$。

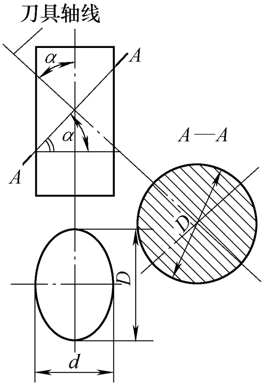


图 7-319　椭圆柱面的几何特点

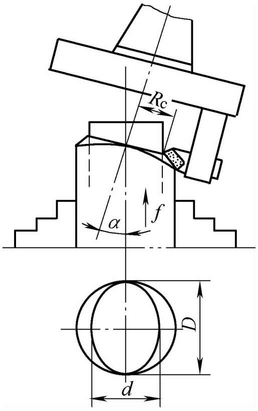


图 7-320　铣削椭圆柱

（1）铣削椭圆柱（见图 7-320）　根据椭圆柱面的几何特点，在立式铣床上铣削椭圆柱时，其安装与调整要求如下：

1）工件用自定心卡盘中，工件轴线应垂直于工作台台面，并使短轴与工作台纵向进给方向平行，长轴与工作台横向平行。对准铣床主轴与工件中心后，计算出主轴的倾斜角 α（$\cos\alpha=d/D$）并扳转铣床主轴。

2）调整刀具刀尖的回转半径 R_C，一般可先令回转半径 R_C 大于椭圆长轴半径 $D/2$，以便于对刀和留下一定的精铣余量。

3）试切时，可将刀具的刀尖调至距椭圆中心为 $d/2$，然后使工作台作垂直进给，待工件端面切出椭圆时，检查周边的加工余量是否均匀，在确定刀具位置正确后，完成粗铣加工。然后调整刀尖的回转半径 $R_C=D/2$，进行精铣。

由于受到刀具切削刃伸出长度的限制及考虑刀具切削时的刚度，这种方法只适于加工厚度不太大的椭圆齿轮轮坯等工件。

（2）镗削椭圆孔　镗削椭圆孔（见图 7-321）的方法与铣削椭圆柱基本相同，但调整时应注意以下几点：

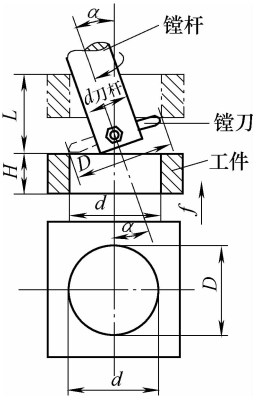


图 7-321　镗削椭圆孔

1）镗削椭圆孔前，需用钻、镗等方法加工出圆柱孔，切去大部分余量，并使圆柱孔径小于椭圆短轴的直径。

2）粗镗椭圆孔时，刀尖的回转直径 D_C 要小于长轴直径 D，以便对刀和留下一定的精镗余量。

3）当工件的厚度尺寸 H 太大，或椭圆孔长轴与短轴的比值较大，即立铣头的偏转角 α 较大时，镗刀刀杆的直径 $d_{刀杆}$ 应满足下式：

$$d_{刀杆} \leqslant D\cos2\alpha - 2H\sin\alpha$$

式中 $d_{刀杆}$——镗刀刀杆直径（mm）；

D——椭圆长轴直径（mm）；

H——工件厚度（mm）；

α——立铣头偏转的角度（°）。

3. 球面的铣削

球面的几何特点是从其表面任意一点到球心的距离（球面半径）是等值的，而任何平面和球面体相截都能得到圆的断面，其大小取决于断面到球心的距离 e，并且凡是断面偏距等于 e 的截圆都相等。因此，只要铣刀刀尖旋转加工面与截圆重合，再配合工件绕一定的轴线旋转，就可以铣削出球面体。

（1）外球面的铣削 外球面的铣削一般都采用硬质合金铣刀盘加工。工件尺寸较小时，可安装在分度头或圆形工作台上；工件尺寸较大时，可安装在图7-322所示的简易减速箱上。

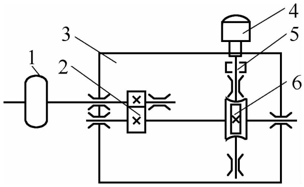


图7-322 简易减速箱的传动系统

1—工件 2—正齿轮传动 3—减速箱 4—电动机 5—连接轴 6—蜗轮蜗杆传动

常见的外球面工件有带柄球面工件、整体球面工件和大半径球面工件等几种。加工前，应根据图样上标注的基本尺寸，计算出铣刀刀尖的回转半径 d_c 和倾斜角 α 或轴交角 β，然后进行调整。在立式铣床上加工时，可采用主轴倾斜法（立铣头倾斜）或工件倾斜法（调整分度头仰角）；而在卧式铣床加工时，只能采用工件倾斜法。

1）带柄球面的铣削。

① 图7-323所示为单柄球面的铣削。其中，D 为柄部直径，R 为球面半径。加工时，工件（或刀盘）的倾斜角 α 的计算公式为

$$\sin 2\alpha = \frac{D}{2R}$$

$$或\ \alpha = \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{D}{2R}\right)$$

刀盘刀尖回转直径 d_c 的计算公式为

$$d_c = 2R\sin\alpha$$

② 图7-324所示为两端轴径相等的双柄

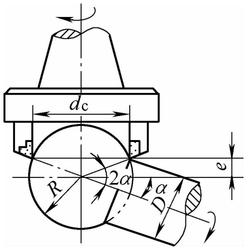


图7-323 单柄球面的铣削

球面的铣削。铣削这种球面时，轴交角 β 为90°，即倾斜角 $\alpha=0°$。铣刀刀尖回转直径 d_c 的计算公式为

$$d_c = \sqrt{4R^2 - D^2}$$

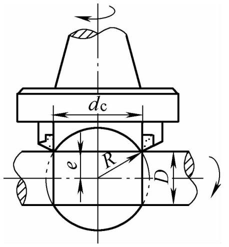


图7-324 两端轴径相等的双柄球面的铣削

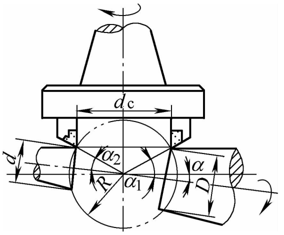


图7-325 两端轴径不等的双柄球面的铣削

③ 图7-325所示为两端轴径不等的双柄球面的铣削。倾斜角 α 和铣刀刀尖回转直径 d_c 的计算公式如下：

$$\sin\alpha_1 = \frac{D}{2R} \quad \sin\alpha_2 = \frac{d}{2R}$$

$$而\ \alpha_2 + \alpha = \alpha_1 - \alpha$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

$$d_c = 2R\cos(\alpha_1 - \alpha)\ 或\ d_c = 2R\cos(\alpha_2 + \alpha)$$

2）整球面的铣削。铣削整球面有以下两种方法：

① 预留工艺柄法。将整球面的铣削分两

步进行。在第一次铣削前留有工艺柄，以便于装夹，并按图 7-323 所示的单柄球面的铣削方法铣出大部分球面；然后按图 7-326 所示的方法装夹工件，即将带有内锥面的心轴装入分度头的主轴孔内，把工件装在心轴的内锥面内，再用带有内锥面的螺母将工件压紧，以接刀法铣出工艺柄处的球面部分。

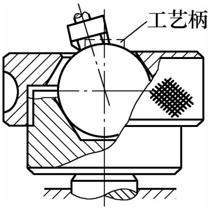


图 7-326 预留工艺柄法铣削整球面

② 支承套加工法。用这种方法铣削整球面也是分两步进行。工件是在分度头和尾架活顶尖之间的两个支承套中被顶挤住（见图 7-327），对刀直径 d_c 控制在 $L > d_c > 2\sqrt{R}$的范围内。两支承套之间的距离 L 的计算公式如下：

$$L = \sqrt{D^2 - d^2} = 2\sqrt{R^2 - r^2}$$

式中 D——工件的直径（mm）；

R——工件的半径（mm）；

d——支承套的直径（mm）；

r——支承套的半径（mm）。

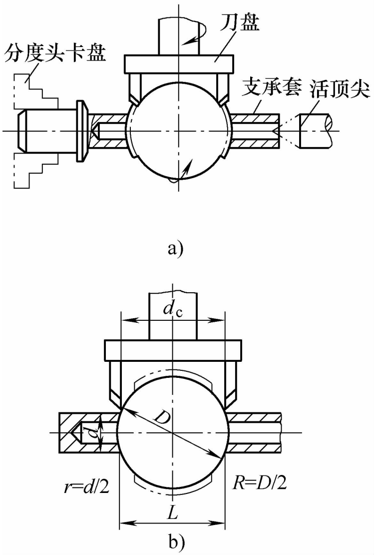


图 7-327 支承套加工法铣削整球面

a）第一次铣削 b）第二次铣削

第一次铣削后，将支承套顶挤住工件已加工球面，进行第二次铣削，完成剩余球面的加工。

3）大半径外球面的铣削（见图 7-328）。铣削大半径外球面时，可将工件安装在回转工

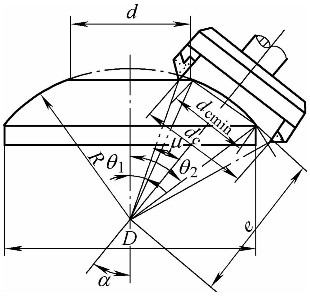


图 7-328 大半径外球面的铣削

作台上，应使其轴线与铣床工作台台面垂直，并与回转工作台同轴，采用主轴倾斜法加工。铣削时，刀盘刀尖的直径 d_c 应保证能将所需的球面加工出来，刀尖最小直径 d_{cmin}的计算如下：

$$\sin\theta_1 = \frac{d}{2R}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{D}{2R}$$

$$d_{cmin} = 2R\sin\frac{\theta_2 - \theta_1}{2}$$

当刀尖圆弧半径为 0.5～1mm 时，可在 d_c 的计算值相应加大 1～2mm。选定直径 d_c 后，主轴倾斜角 α 可在一定范围内选择，其最大值和最小值可计算如下：

$$\sin\beta = \frac{d_c}{2R}$$

$$\alpha_{max} = \theta_1 + \beta$$

$$\alpha_{min} = \theta_2 - \beta$$

（2）内球面的铣削

1）用立铣刀铣削内球面。用立铣刀铣削内球面（见图 7-329），适于铣削半径较小的内球面。加工前，应计算出立铣刀直径 d_c 的选择范围。由图 7-329b 可见，当立铣刀圆周刃恰好接触到 A 点时，铣刀的直径为最大（d_{cmax}）；而当立铣刀端面刃恰好接触到 B 点时（见图 7-329c），铣刀的直径为最小（d_{cmin}）。铣刀直径的计算如下：

$$d_{cmin} = \sqrt{2RH}$$

$$d_{cmax} = 2\sqrt{R^2 - \frac{RH}{2}}$$

式中 R——球面半径（mm）；

H——球面深度（mm）。

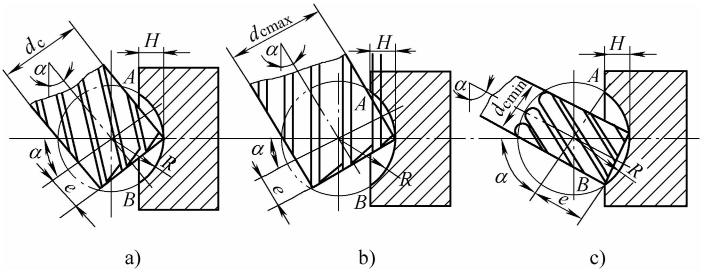


图 7-329 用立铣刀铣削内球面

a）步骤一 b）步骤二 c）步骤三

在确定铣刀直径 d_c 值时，应选用直径较大的立铣刀，这样可减小主轴的倾斜角 α。α 的计算如下

$$\cos\alpha = \frac{d_c}{2R}$$

2）用镗刀加工内球面。用镗刀加工内球面时，镗刀的回转直径能按需要在一定范围内进行调节，因而加工范围较广，可以加工半径较大的内圆球面，并且能加工外球心内球面和内球心内球面。

① 加工外球心内球面（见图 7-330a）。加工时，应先确定倾斜角 α。由于镗杆直径小于镗刀回转直径，因而当球面半径 R 和深度 H 不大时，α_{min}有可能取 0°，而 α_{max}的计算公式如下：

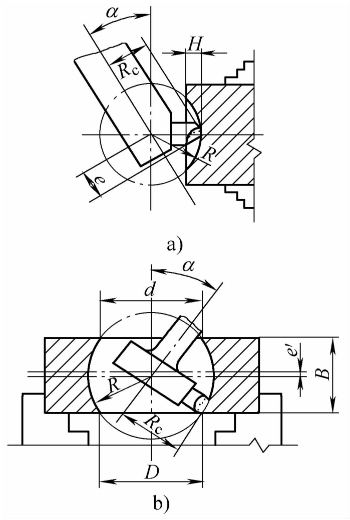


图 7-330 用镗刀加工内球面

a）加工外球心内球面 b）加工内球心内球面

$$\cos\alpha_{max} = \sqrt{\frac{H}{2R}}$$

倾斜角 α 应尽可能取小值，但要注意镗杆不能与工件相碰。镗刀半径 R_c 的计算公式如下：

$$R_c = R\cos\alpha$$

② 加工内球心内球面（见图 7-330b）。这种内球心的内球面不在工件厚度的对称平面上，属于偏心内球面。加工时，在能铣出球面的前提下，尽可能取 $\alpha = \alpha_{min}$。倾斜角 α_{min} 和镗刀的回转半径 R_c 计算公式如下：

$$D = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{B}{2} - e'\right)^2}$$

$$d = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{B}{2} + e'\right)^2}$$

$$\tan\alpha_{min} = \frac{2B}{D + d}$$

$$R_c = \frac{B}{2\sin\alpha_{min}}$$

式中 B——工件厚度（mm）；

e'——球心偏移工件厚度对称平面距离（mm）。

3）用铣刀盘铣削大半径内球面（见图 7-331）。大半径的内球面，可用铣刀盘进行铣削。在加工前，先要用钻、镗等方法将大部分加工余量切除，然后再进行铣削加工。其刀盘直径 d_c 及倾斜角 α 的计算和选择，可应用大半径外球面铣削时所用的计算方法和公式。

由上述的球面加工过程中可见，加工时铣刀的轴线必须通过工件的球心，故装夹工件时要进行中心找正。举例如下：

1）在铣削两端轴径相等的双柄球面时

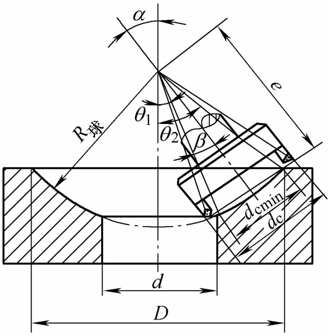


图 7-331 用铣刀盘铣削内球面

（见图 7-324），对中心的方法见图 7-332。工件装夹、找正后，在工件上划出两条相互垂直线 *ab* 和 *cd* 汇交于 *A* 点，然后将工件转动 90°，使 *A* 点转至上方与铣床主轴中心相对。在刀盘中心孔内装一个中心量棒，使棒尖对准 *A* 点，则铣床主轴中心线通过工件的中心。

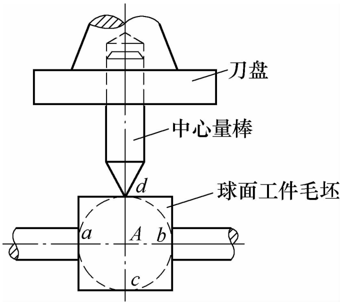


图 7-332 铣削两端轴径相等的双柄球面时对中心的方法

2）图 7-333 所示为铣削单柄球面时的对刀方法。即以球面半径 *SR* 的尺寸，在球面坯件的四周划线相交于 *o* 点。转动工件使 *o* 点与主轴相对，用中心量棒的棒尖对准 *o* 点，然后将纵向工作台移动一个距离 *oa*，使棒尖对准 *a*

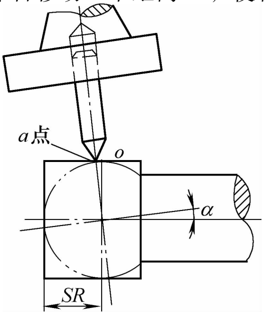


图 7-333 铣削单柄球面时的对刀方法

点，即工件的球心通过铣床主轴中心线。*oa* 的距离可用下式计算：

$$oa = SR\tan\alpha$$

式中 *SR*——球面半径（mm）；

α——分度头主轴的倾斜角度（°）。

3）镗削偏心内球面时的对中心的方法见图 7-334。先用作图及计算方法求出加工时镗

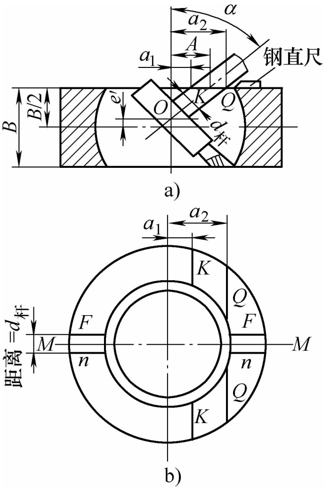


图 7-334 镗削偏心内球面时的对中心的方法

a）示意图一 b）示意图二

刀杆与工件轴线的相对位置，并在工件上划出 *MM*、*KK*、*QQ*、*FF*、*nn* 线，然后使镗刀杆外圆与划线 *QQ*、*FF* 直线处放置的直尺边相切，从而使铣刀的回转轴线通过球心。镗刀刀杆沿 *MM* 方向的位置可按下式计算：

$$A = \left(\frac{B}{2} - e'\right)\tan\alpha$$

$$a_1 = \left(\frac{B}{2} - e'\right)\tan\alpha - \frac{d}{2\cos\alpha}$$

$$a_2 = \left(\frac{B}{2} - e'\right)\tan\alpha + \frac{d}{2\cos\alpha}$$

式中 *B*——工件厚度（mm）；

e'——球心偏距（mm）；

α——镗刀杆倾斜角（°）；

d——镗刀杆直径（mm）。

（3）球面的检验

1）用样板检验球面（见图 7-335）。用样板检验内、外球面时，样板的测量面必须通过球面的球心，与测量部位贴紧，观察其缝隙大小。

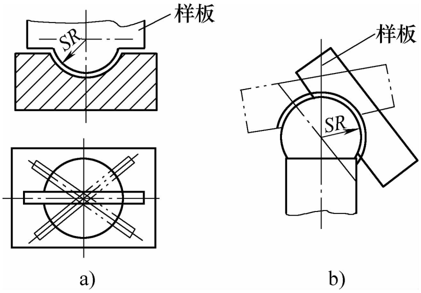


图 7-335 用样板检验球面
a）检验内球面 b）检验外球面

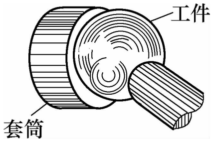


图 7-336 用套筒检验外球面

2）用套筒检验球面（见图 7-336）。图 7-336 所示为用略小于球面的套筒（或垫圈）的内圈（或外圈）与外球面（或内球面）的测量部位贴紧，观察其缝隙大小。

3）用内径指示表和千分尺测量。如测量球面各个方向的直径尺寸都相等，则球形正确，同时也可测出球面的实际尺寸；如偏差较大时，则表示球面形状、尺寸有较大误差。

4）目测检验。如球面的切削纹路是交叉的，即球面形状正确；如果切削纹路是单向的，则球面形状不正确。这种方法简便，也符合球面加工原理。

（4）球面铣削常见的质量问题及其原因

球面铣削常见的质量问题及原因见表 7-70。

表 7-70 球面铣削常见的质量问题及原因

现 象	原 因
球面表面呈单向切削纹路，形状呈橄榄形	铣刀轴线和工件轴线不在同一平面内； 1）工件与夹具不同轴 2）夹具安装 校正不好 3）工作台调整不当
内球面加工后，表面呈交叉形切削纹路，外口直径扩大，底部出现凸尖	铣刀刀尖运动轨迹未通过工件端面中心： 1）对刀不正确 2）划线错误
球面半径不符合要求	1）铣刀刀尖回转直径 d_e 调整不当 2）铣刀沿轴向进给量过大
球面粗糙度达不到要求	1）镗刀切削角度刃磨不当 2）铣刀磨损 3）铣削量过大，圆周进给不均匀 4）顺、逆铣选择不当，引起窜动、梗刀

7.3.19 钻、扩、铰孔与镗孔

在铣床上，为适应某些工件加工的需要，有时还要进行钻孔、扩孔、铰孔和镗孔加工。

1. 钻孔

钻孔（见图 7-337）常用的刀具是麻花钻头（见图 7-338）。麻花钻的类型和结构尺寸可参见 2.2 节。

（1）钻孔的工艺特点

1）加工精度低（IT12～13）、表面粗糙度值大（Ra12.5μm）。其主要原因是钻头的两个主切削刃不易磨得完全对称，切削时受力不均衡；钻头的轴线与铣床主轴轴线不可避免地存在偏心，钻头上有两条深的螺旋槽，使得钻头又细又长，刚性很差；钻头横刃上的前角是很大的负值，切削条件极差，产生很大的轴向力，容易造成钻头的轴线弯曲；钻头的导向部分只有两条窄的刃带，导向的可靠性差。因此，钻孔时钻头很容易发生偏斜，从而引起孔径扩大和轴线弯曲（见图 7-339），钻小孔和深孔时则更为严重。

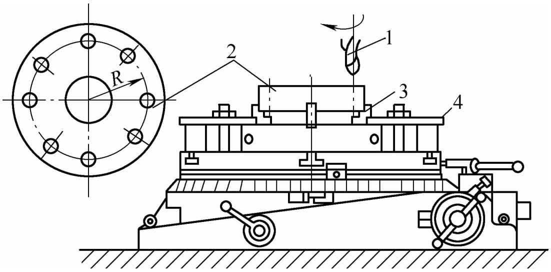


图 7-337 在回转工作台上钻孔

1—钻头 2—工件 3—自定心卡盘 4—压板

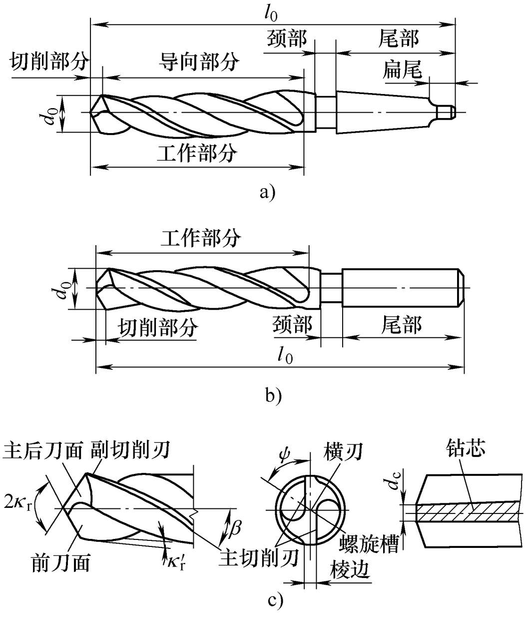


图 7-338 麻花钻的类型和结构尺寸

a）锥柄麻花钻 b）直柄麻花钻 c）麻花钻切削部分几何参数

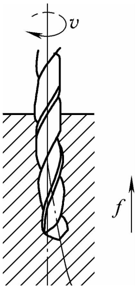


图 7-339 钻孔时的轴线弯曲

此外，钻孔时切下的切屑体积大，而排屑的螺旋槽容积有限，故排屑困难。并且在排屑过程中，切屑要和孔壁发生挤压和摩擦，从而拉毛和刮伤已加工表面。严重时，切屑可能阻塞在钻头的螺旋槽内，卡死钻头，甚至使钻头扭断。钻孔时，由于钻头是埋在已加工孔内，切屑与刀具、工件之间的摩擦很大，加上钻头横刃不锋利，钻削时产生的切削热大，而大量高温的切屑不能顺利排出，切削液又难以注入到切削区，因而切削刃容易磨损，也影响了钻孔的表面粗糙度。

由上可见，钻孔的加工质量低，一般只能作粗加工。钻孔后，可以通过扩孔、铰孔或镗孔等方法来提高孔的加工精度和减小表面粗糙度值。

2）生产率低。钻头的刚性差，其横刃产生的轴向切削阻力大；钻孔时排屑困难，产生的切削热大而冷却效果差，使得切削刃容易磨损，因而限制了钻孔的进给量和切削速度，降低了钻孔的生产率。

虽然钻孔存在上述不足之处，但是在实体材料上用机械加工的方法加工孔，目前钻孔仍是必用的方法。

针对钻头结构上的缺陷和不利的切削条件给钻孔质量、生产率带来的不良影响，在生产中可通过正确刃磨、修磨钻头以及采用群钻等来改善钻孔的加工质量和生产率。

（2）麻花钻头的刃磨　麻花钻头刃磨的质量直接影响钻孔的质量与效率。刃磨麻花钻时，一般只刃磨两个主后刀面，但要同时保证后角 α、顶角 $2\kappa_r$ 和横刃斜角 ψ。刃磨前，应先检查砂轮，如砂轮表面不平整或径向跳动量大，必须对砂轮进行修整。刃磨过程中，应经常浸入水中进行冷却，以免因磨削温度过高使钻头退火而降低硬度和切削能力。磨削时，要特别注意使钻头的顶角对称和磨出适当大小的后角。

1）如果钻头的顶角磨的不对称、两主切削刃长度不一致（见图 7-340），钻削时两边受力不平衡，会造成孔中心线偏移和孔径扩大，严重影响钻孔精度并加快钻头的磨损。

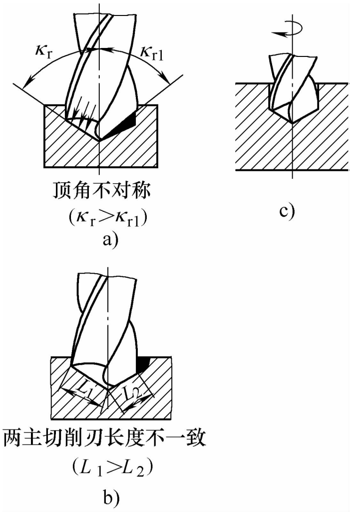


图 7-340　钻头刃磨常见的疵病

a）顶角不对称（$\kappa_r > \kappa_{r1}$）　b）两主切削刃长度不一致（$L_1 > L_2$）　c）正确

2）刃磨钻头后刀面时，钻头切削刃要摆平，磨削点应在砂轮水平中心面上，钻头轴线与砂轮圆柱面母线在水平面内的夹角为顶角 $2\kappa_r$ 的一半。钻头尾部的摆动角度约在 12°～15°之间（见图 7-341）。如果钻尾摆动角度过大并越过砂轮水平中心面时，钻头会被磨成负后角（$-\alpha$）而不能正常工作。钻头外缘处的后角一般是 8°～20°，横刃斜角是 40°～60°。

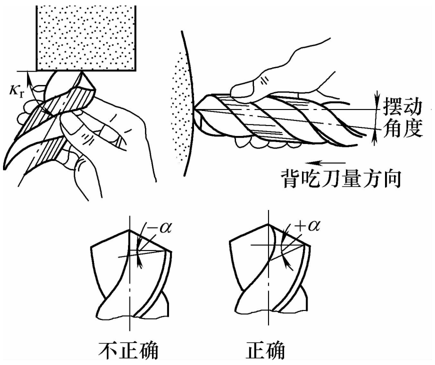


图 7-341　钻头不能磨成负后角

图 7-342 所示为用夹具来刃磨麻花钻（按锥面磨法原理）。钻头装在夹具中并根据钻头直径大小来调整夹具上的 k 值。钻头直径与 k 值的关系见表 7-71。

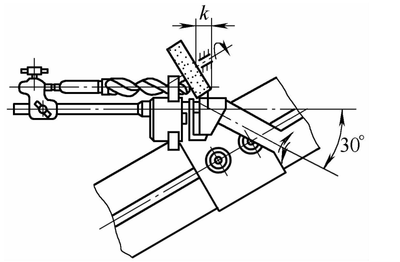


图 7-342　用夹具刃磨麻花钻（按锥面磨法原理）

表 7-71　钻头直径与 k 值关系

（单位：mm）

钻头直径 d	30	35	40	45	50	30	35	40	50
锋角 $2\kappa_r$ /（°）	118					130			
k	51	43	36	31	23	47	39	31	15

钻头刃磨后，可用万能角度尺检测两个主切削刃的对称性（见图 7-343）。将角尺贴在钻头一边刃口上，测出角度和主切削刃长度，转过 180°进行同样的测量，如果两者数值相等，表明钻头两主切削刃对称。

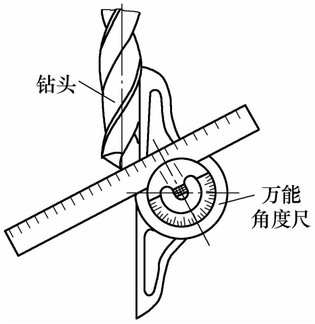


图 7-343 用万能角度尺检测钻头两个主切削刃的对称性

（3）麻花钻的修磨 对标准麻花钻的结构和几何参数分析后可知，造成其不利的切削条件主要有以下几点：

1）钻头主切削刃上各点的前角变化很大；切削刃的外缘前角大，钻头中心附近处为负前角，切削条件很差。

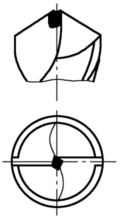
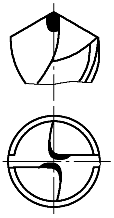
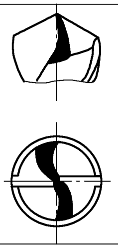
2）横刃太长，钻孔时定心作用不良，钻头容易发生摆动；横刃的前角为负值，刃口很钝，钻孔时挤刮金属，使得轴向阻力很大。

3）主切削刃的全宽上参加切削，切削刃上各点切下的切屑流出速度相差很大；切削碳钢工件时，切屑宽且卷不紧，占用空间大，容易在螺旋槽内堵塞，排屑不顺利，切削液也不易注入切削区内。

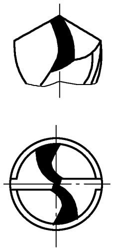
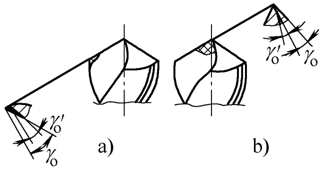
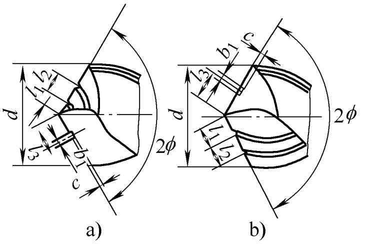
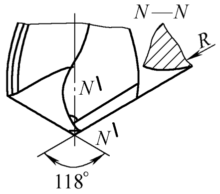
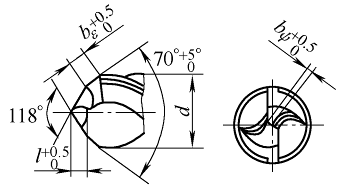
4）主切削刃与棱边转角处的切削速度最高。棱边上的后角为 0°，故棱边与孔壁的摩擦与发热严重；主切削刃外缘的刀尖角较小，前角大，刀齿薄弱，此处速度高，产生的切削热多，使得主切削刃与棱边转角处的磨损最快，成为钻头切削的薄弱环节。

针对标准麻花钻结构上存在的上述缺点，只要根据工件材料、切削条件的不同，有针对性地进行修磨，就可以改善麻花钻的切削性能。标准麻花钻常用的修磨方法见表 7-72。

表 7-72 标准麻花钻常用的修磨方法

修磨方法		简图	说明
修磨横刃	修去横刃		用砂轮在横刃处磨出缺口，形成新的切削刃。这种方法加大了该处的前角，使钻削时的轴向力大大降低。但这种刃形定心差，且钻头强度减弱，只适于钻铸铁等强度较低的材料
	缩短横刃		在主切削刃上形成转折点，有利于分屑和断屑
	十字形刃磨		加大了横刃的前角，甚至为正前角，钻心强度有所减弱。该钻头主要用于钻深孔

（续）

修磨方法		简　　图	说　　明
修磨横刃	综合式刃磨		缩短了横刃，加大了修磨处的前角，有利于分屑和断屑，增大了钻心部分的排屑空间
修磨前刀面			加工较硬材料时，将外缘处的前刀面磨去一部分（图 a），使主切削刃外缘处的前角减小，提高该部分的强度和钻头的寿命。加工较软材料时，将钻心部分的前角增大（图 b），可使切削顺利
修磨分屑槽			在两主切削刃后刀面上交错磨出小狭槽（图 a），也可在前刀面上开分屑槽（图 b）。这样有利于排屑，可改善切削条件，适用于在韧性材料上钻较大、较深的孔。前一种修磨方法每次重磨时都需修磨分屑槽，而后一种在制造钻头时就已铣出。修磨分屑槽的参数见表 7-73
开断屑槽			在钻头前刀面上沿主切削刃磨出断屑槽，能起到良好的断屑作用。该钻头主要用于钻削韧性较大的材料
修磨锋角			在钻头主切削刃与副切削刃相连接的转角处磨出宽度为 b 的过渡刃，这样可以强化刀尖和减小轴向力，也改善了转角处的散热条件。在修磨锋角的同时，对横刃也应进行修磨，使后角适当加大。修磨锋角的参数见表 7-74

（续）

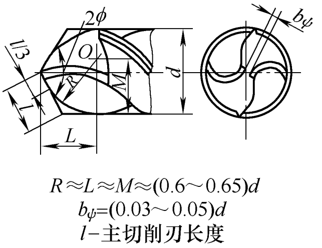
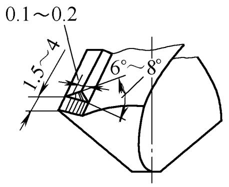
修磨方法	简　图	说　明
圆弧刃钻头	 $R \approx L \approx M \approx (0.6 \sim 0.65)d$ $b_\psi = (0.03 \sim 0.05)d$ l = 主切削刃长度	将主切削刃外缘段修磨成圆弧，使此段切削刃各点的锋角不等，由里向外逐渐减小。靠钻心的一段切削刃仍保持原来的直线刃。这样切削刃长度增加，单位长度负荷减小，且改善了转角处的散热条件，提高了寿命，并可减少钻透时的毛刺。该钻头适用于钻低碳钢薄板上的小孔
修磨棱边		修磨棱边，使原来的0°副后角磨成6°～8°，并留一条宽为0.1～0.2mm的刃带。减少了棱边与孔壁的摩擦，减小了钻头的磨损，可提高钻头的寿命一倍。表面有硬皮的铸铁不宜采用这种修磨方式的钻头加工，因为这种修磨方式减弱了棱边强度，易使钻头损坏

表 7-73　修磨分屑槽的参数　（单位：mm）

钻头直径 d	总槽数	槽宽 b_1	l_1	l_2	l_3	槽深 c
12～18	2	0.85～1.3	2.3	4.6	—	$>f$（进给量）
>18～35	3	1.3～2.1	3.6	7.2	7.2	
>35～50	5	2.1～3.0	5.0	10.0	10.0	

表 7-74　修磨锋角参数值　（单位：mm）

钻头直径 d	b_ψ	b_ε	l	α_f/（°）
>10～12	1	2	2	14～11
>12～15	1.5	2.5	3	
>15～20	2	3.5	4	12～9
>20～25	2.5	4.5	5	
>25～30	3	5.5	6	
>30～40	3.5	7	7	11～8
>40～50	4	9	9	
>50～60	5.5	11	11	
>60～70	6.5	13	13	
>70～80	7.5	15	15	

(4) 加工不同材料时，麻花钻头的几何角度（见表7-75） 加工不同材料时，可选用合理的几何角度，将有利于获得较好的钻削质量和加工效率。

表7-75 加工不同材料时麻花钻头的几何角度

加工材料	锋角/(°)	后角/(°)	横刃斜角/(°)	螺旋角/(°)
一般材料	116~118	12~15	35~45	20~32
一般硬材料	116~118	6~9	25~35	20~32
铝合金（通孔）	90~120	12	35~45	17~20
铝合金（深孔）	118~130	12	35~45	32~45
软黄铜和青铜	118	12~15	35~45	10~30
硬青铜	118	5~7	25~35	10~30
铜和铜合金	110~130	10~15	35~45	30~40
软铸铁	90~118	12~15	30~45	20~32
冷（硬）铸铁	118~135	5~7	25~35	20~32
淬火钢	118~125	12~15	35~45	20~32
铸钢	118	12~15	35~45	20~32
锰钢（7%~13%锰）	150	10	25~35	20~32
高速钢	135	5~7	25~35	20~32
镍钢（250~400HBS）	130~150	5~7	25~35	20~32
木料	70	12	35~45	30~40
硬橡胶	60~90	12~15	35~45	10~20

(5) 采用群钻 群钻是针对标准麻花钻结构上存在的诸多不足之处进行改进的一种新型钻头。几种常用群钻切削部分的几何参数见表2-124~表2-127。

群钻从几何形状上看，关键是开了圆弧槽，对新形成的横刃进行了修短、修锐的综合修磨。两个圆弧刃（*BC*段）、两个内刃（*CD*段）比修磨前相应的切削刃前角都加大了，钻尖与两侧刃尖的高度差 h 很小。起钻时，先是钻尖接触工件，接着两侧刃尖就切入工件，故起钻时定心较好；然后圆弧刃在孔底划出圆环肋，阻止钻头偏移，起到了较好的定心作用。此外，圆弧槽还具有分屑槽作用。用群钻钻削钢件时，与标准麻花钻相比，轴向力可降低35%~47%；转矩降低10%~30%，可以增大进给量、提高切削速度，切削效率可提高3~5倍，且孔的精度也有所提高。要发挥群钻钻孔的优越性，正确刃磨是关键环节。手工刃磨群钻时，可采用WA46-60K-LV型号砂轮。修整群钻砂轮时（见图7-344），除将砂轮外圆及侧面修平整外，砂轮圆角不得大于标准群钻参数表（参见表2-124）中标出的圆弧半径 R 值。现以标准群钻为例，介绍刃磨外直刃、月牙槽、横刃及分屑槽的刃磨步骤与操作要领。

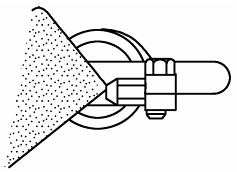


图7-344 修整群钻砂轮

1）首先是刃磨外直刃（见图7-345）。刃磨时，需将钻刃摆平，钻头轴线向左倾斜以形成锋角 κ_r。当钻刃接触砂轮开始刃磨时，一手握住钻头某个固定部位作支点，一手将钻尾上下摆动，同时吃刀磨出后刀面，保证外刃后角 α。钻尾摆动时，不得高于水平面，以免磨出负后角。

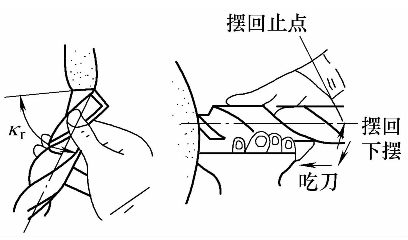


图7-345 刃磨外直刃

刃磨后刀面时，只允许从刃口向刃背方向进行。特别是在切削刃即将磨好成形时，切不

可由刃背后向刃口方向磨削，否则会造成刃口退火。

2）刃磨月牙槽（见图7-346）的操作步骤如下：

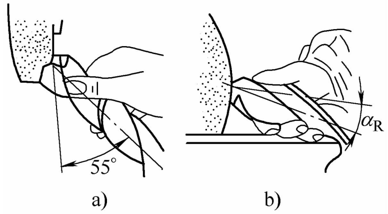


图7-346 刃磨月牙槽

a）图示一 b）图示二

① 手持钻头使主切削刃基本水平，以保证横刃斜角 ψ 适当和 B 点处的侧后角 α_R 为正值。外直刃的外缘点不允许上翘，否则 B 点处会出现负值后角，并使横刃斜角 ψ 变小。

② 开始刃磨时，钻头应水平向前缓慢平稳送进，磨出后刀面（见图7-345），形成圆弧刃，应保证圆弧半径 R 和外刃长度 l。如果砂轮圆角半径小于圆弧半径 R 值，则钻头还应在水平面内作微小的摆动，以获得所需的 R 值。

③ 钻头绝对不能在垂直面内上下摆动，或绕钻轴转动，否则横刃变成S形，横刃斜角变小，而且圆弧形状也不易控制对称。

④ 将钻头翻转180°刃磨另一边的后刀面时，应特别注意保持圆弧与钻心尖的对称性。

3）刃磨群钻横刃时（见图7-347），钻头轴线应向左倾斜15°，尾柄向下约55°，外直刃与砂轮侧面之间的夹角为 τ（内刃斜角）。开始刃磨时，钻头上的磨削点逐渐由外刃背向钻心移动，磨出前面，保证内刃前角 γ_τ 和内刃斜角 τ。

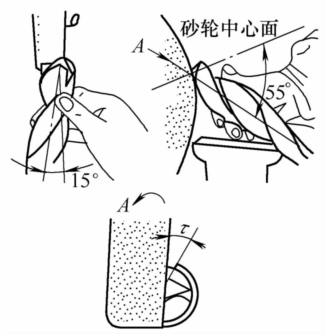


图7-347 刃磨群钻横刃

由外向内刃磨时，磨削量应当由大到小，磨主钻心处要轻，防止刃口退火。

刃磨时，要严防因外直刃与砂轮侧面之间的夹角 τ 太小，而磨到圆弧刃甚至外直刃。内刃斜角 τ 的数值要求并不严，但要求两个 τ 角保持大小一致。此外，钻心部分不要磨得过薄。

4）刃磨外直刃上的分屑槽（见图7-348），最好选用橡胶切割砂轮，也可用普通小砂轮，但砂轮圆角半径要修小一点。

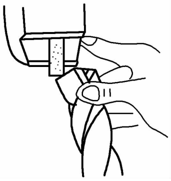
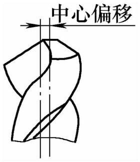


图7-348 刃磨外直刃上的分屑槽

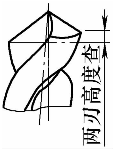
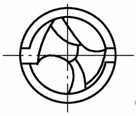
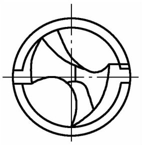
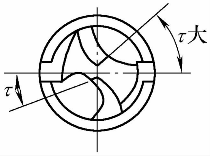
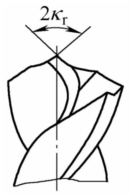
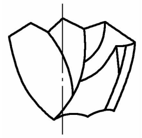
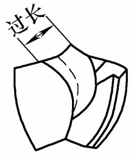
手持钻头并目测两外直刃，如果两外直刃有高有低，则应选择较高的一刃，使片砂轮侧面（或小砂轮的圆角平分面）与它垂直，并对准外直刃的中间。钻头接触砂轮开始刃磨时，同时在垂直面内摆动钻尾，磨出分屑槽和分屑槽侧后角，并保证槽距 l_1、槽宽 l_2 和槽深 C。

群钻刃磨时常见的疵病及其原因见表7-76。

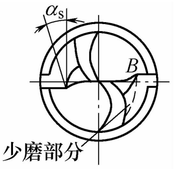
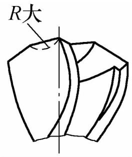
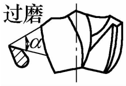
表7-76 群钻刃磨时常见的疵病及其原因

疵　　病		产生后果	产生原因
钻头偏移，造成主切削刃长短不一致		钻出孔大	刃磨时观察不仔细

（续）

疵　　病	产生后果	产生原因
两主切削刃高度不一致 	单刃切削	刃磨方法不当及观察不仔细
横刃不在中心线上 	钻出孔大	修磨横刃时，两边修磨不均
两月牙弧槽不对称，一个靠里，一个靠外 	钻出孔大	刃磨时未注意观察
两内刃斜角 τ 不一致 	钻出孔大	修磨横刃时，钻头外直刃与砂轮侧面的夹角不一致
内刃锋角 $2\kappa_r'$ 小 	钻头易断尖	磨月牙槽时，钻头轴线与砂轮侧面夹角小于 55°
后刀面磨去过多 	切削刃强度降低、散热不好，钻钢件时产生抖动，易扎刀，但适于钻铝合金	修磨横刃时，钻尾下倾太大，超过 55°
钻心太薄	钻心强度低，容易崩尖	修磨横刃时，钻尾下倾和左倾皆偏大
内直刃过长 	月牙弧处前角减少，使切削条件变坏	修磨横刃时，外直刃与砂轮侧面夹角过小

（续）

疵 病		产生后果	产生原因
B 点处无侧后角		B 点处刀尖易磨损	磨月牙槽时，外直刃未放平，往上翘
弧底浅 R 太大		分屑不好或不起分屑作用	砂轮圆周过大
外刃后角过大		钻孔时产生强烈振动，易崩刃	磨外直刃时，钻尾向下摆动太大，钻头磨削点高于砂轮中心平面

（6）麻花钻钻孔中常见问题的产生原因　　因和解决方法见表 7-77。
和解决方法　麻花钻钻孔中常见问题的产生原

表 7-77　麻花钻钻孔中常见问题的产生原因和解决方法

问题内容	产生原因	解决方法
孔径增大、误差大	1）钻头左、右切削刃不对称，摆差大 2）钻头横刃太长 3）钻头刃口崩刃 4）钻头刃带上有积屑瘤 5）钻头弯曲 6）进给量太大 7）铣床主轴摆差大或松动	1）刃磨时，保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 2）修磨横刃，减小横刃长度 3）及时发现崩刃情况，并更换钻头 4）将刃带上的积屑瘤用油石修整到合格 5）校直或更换 6）降低进给量 7）及时调整和维修铣床
孔径小	1）钻头刃带已严重磨损 2）钻出的孔不圆	1）更换合格钻头 2）见下一项的解决办法
钻孔时产生振动或孔不圆	1）钻头后角太大 2）无导向套或导向套与钻头配合间隙过大 3）钻头左、右切削刃不对称，摆差大 4）主轴轴承松动 5）工件夹紧不牢 6）工件表面不平整，有气孔、砂眼 7）工件内部有缺口、交叉孔	1）减小钻头后角 2）钻杆伸出过长时，必须有导向套，采用合适间隙的导向套或先打中心孔再钻孔 3）刃磨时，保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 4）调整或更换轴承 5）改进夹具与定位装置 6）更换合格毛坯 7）改变工序顺序或改变工件结构

（续）

问题内容	产生原因	解决方法
孔位超差，孔歪斜	1）钻头的钻尖已磨钝 2）钻头左、右切削刃不对称，摆差大 3）钻头横刃太长 4）钻头与导向套配合间隙过大 5）主轴与工作台面不垂直 6）钻头在切削时振动 7）工件表面不平整，有气孔、砂眼 8）工件内部有缺口、交叉孔 9）导向套底端面与工件表面间的距离远，导向套长度短 10）工件夹紧不牢 11）工件表面倾斜 12）进给量不均匀	1）重磨钻头 2）刃磨时，保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 3）修磨横刃，减小横刃长度 4）采用合适间隙的导向套 5）校正机床夹具位置，检查铣床主轴的垂直度 6）先打中心孔再钻孔，采用导向套或改为工件回转的方式 7）更换合格毛坯 8）改变工序顺序或改变工件结构 9）加长导向套长度 10）改进夹具与定位装置 11）正确定位安装 12）使进给量均匀
孔壁表面粗糙	1）钻头不锋利 2）后角太大 3）进给量太大 4）切削液供给不足，切削液性能差 5）切屑堵塞钻头的螺旋槽 6）夹具刚性不够 7）工件材料硬度过低	1）将钻头磨锋利 2）采用适当的后角 3）减小进给量 4）加大切削液流量，选择性能好的切削液 5）见“钻头折断”一项中之7） 6）改进夹具 7）增加热处理工序，适当提高工件硬度
钻头折断	1）切削用量选择不当 2）钻头崩刃 3）钻头横刃太长 4）钻头已钝，刃带严重磨损呈正锥形 5）导向套底端面与工件表面间的距离太近，排屑困难 6）切削液供应不足 7）切屑堵塞钻头的螺旋槽，或切屑卷在钻头上，使切削液不能进入孔内 8）导向套磨损成倒锥形，退刀时，钻屑夹在钻头与导向套之间 9）孔钻通时，由于进给阻力迅速下降而进给量突然增加 10）工件或夹具刚性不足，钻通时弹性恢复，使进给量突然增加 11）钻铸件时遇到缩孔	1）减小进给量和切削速度 2）及时发现崩刃情况。当加工较硬的钢件时，后角要适当减小 3）修磨横刃，减小横刃长度 4）及时更换钻头，刃磨时将磨损部分全部磨掉 5）加大导向套与工件间的距离 6）切削液喷嘴对准加工孔口，加大切削液流量 7）减小切削速度、进给量；采用断屑措施；或采用分级进给方式，使钻头退出数次 8）及时更换导向套 9）修磨钻头顶角，尽可能降低钻孔轴向力；孔将要钻通时，改为手动进给，并控制进给量 10）减少机床、工件、夹具的弹性变形；改进夹紧定位，增加工件、夹具刚性；增加二次进给 11）对估计有缩孔的铸件要减少进给量

2. 扩孔

扩孔是用刀具对工件上已钻出或铸、锻、冲出的孔进行扩大加工的方法。扩孔可以作为孔的最终加工工序，也可以作为铰孔、磨孔的预加工工序。扩孔后，孔的公差等级一般可达IT9～IT10，表面粗糙度值 Ra 可达6.3～3.2μm。

（1）扩孔方法

1）用麻花钻扩孔。在实心材料上钻孔，当孔径在30mm以上时，常用直径为孔径0.5～0.7倍的钻头先钻出一个小孔，然后再用大直径的麻花钻进行扩孔（见图7-349）。

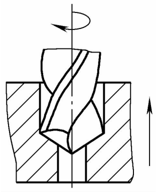


图7-349 用麻花钻扩孔

2）用扩孔钻扩孔。采用图7-350所示的扩孔钻扩孔，一般加工余量为0.85～4.5mm范围内，切屑体积小，排屑较为方便。因此，扩孔钻的容屑槽较浅而钻头较粗，刀具刚性好；一般有3～4个主切削刃，每个切削刃的切削负荷较小；棱刃多，使得导向性好，切削过程平稳。扩孔能修正孔轴线的歪斜。扩孔钻无端部横刃，切削时轴向力小，因而可以采用较大的进给量和切削速度。扩孔的加工质量和生产率比钻孔高，采用镶有硬质合金刀片的扩孔钻，切削速度可以提高2～3倍，大大地提高了生产率。

扩孔钻的类型及规格尺寸见表2-128～表2-130、表2-132～表2-134。

（2）扩孔钻外径极限偏差的选择 同一直径尺寸的扩孔钻，用于铰孔前的扩孔（1号），直径极限偏差为负值；用于精度要求不太高孔的终加工（2号），直径极限偏差为正值（见表7-78）。例如外径尺寸为50mm的硬质合金套装扩孔钻，1号的上、下偏差分别为 $^{-0.29}_{-0.34}$ mm，2号为 $^{+1.00}_{+0.05}$ mm。因此，应当根据加工要求来选择扩孔钻号数。

（3）扩孔钻扩孔中常见问题的产生原因和解决方法 扩孔钻扩孔中常见问题的产生原因和解决方法见表7-79。

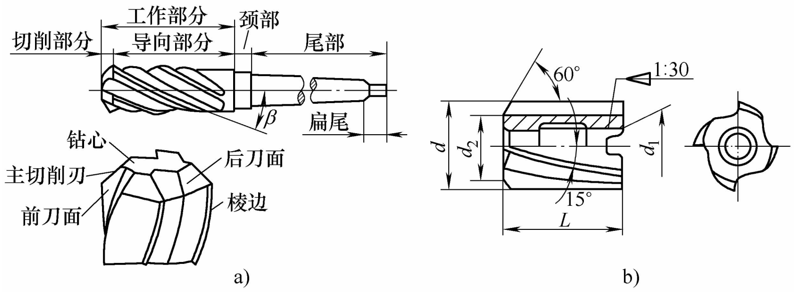


图7-350 扩孔钻

a）扩孔钻的结构要素 b）套装扩孔钻

表7-78 硬质合金套装扩孔钻的基本尺寸及其极限偏差 （单位：mm）

D（外径）			L（长度）		d（内径）	
基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
	1号扩孔钻	2号扩孔钻				
30	-0.25 -0.29	+0.08 +0.04	40	-1.6	13	+0.019
32～34	-0.29 -0.34	+0.08 +0.04	40	-1.6	13	+0.019

（续）

D（外径）			L（长度）		d（内径）	
基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
	1 号扩孔钻	2 号扩孔钻				
35 ~ 40	-0.29 -0.34	+0.10 +0.05	45	-1.6	16	+0.019
42 ~ 48	-0.29 -0.34	+0.10 +0.05	50	-1.6	19	+0.023
50	-0.29 -0.34	+1.0 +0.05	55	-1.9	22	+0.023
52 ~ 55	-0.35 -0.41	+0.12 +0.06	55	-1.9	27	+0.023
58 ~ 70	-0.35 -0.41	+0.12 +0.06	60	-1.9	27	+0.023
72 ~ 80	-0.35 -0.41	+0.12 +0.06	65	-1.9	32	+0.027

表 7-79 扩孔钻扩孔中常见问题的产生原因和解决方法

问题内容	产 生 原 因	解 决 方 法
孔径增大	1）扩孔钻切削刃摆差大 2）扩孔钻刃口崩刃 3）扩孔钻刃带上有积屑瘤 4）安装扩孔钻时，锥柄表面油污未擦干净，或锥面有磕、碰伤	1）刃磨时保证摆差在允许范围内 2）及时发现崩刃情况，更换刀具 3）将刃带上的积屑瘤用油石修整到合格 4）安装扩孔钻前，必须将扩孔钻锥柄及机床主轴锥孔内部油污擦干净，锥面有磕、碰伤处用油石修光
孔表面粗糙度值大	1）切削用量过大 2）扩孔钻过度磨损 3）切削液选择不当或供应不足	1）适当降低切削用量 2）更换扩孔钻，刃磨时应把磨损区全部磨去 3）选用适当的切削液，加大切削液流量，并把切削液喷嘴对准加工孔口

3. 铰孔

（1）铰孔的工艺特点及铰刀的结构　铰孔（见图 7-351）是孔的精加工方法之一，铰孔的刀具是铰刀（见图 7-352）。铰孔的加工余量小（粗铰为 0.15 ~ 0.35mm，精铰为 0.05 ~ 0.15mm），故铰刀的容屑槽浅、刚性好、切削刃数目多（6 ~ 12 个）、导向可靠性好、切削刃的切削负荷均匀。铰刀的制造精度高，其圆柱校准部分具有校准孔径和修光孔壁的作用。铰孔时，排屑和冷却润滑条件好，切削速度低（精铰 $v=2\sim5\mathrm{m/min}$），切削力、切削热都小，并可避免产生积屑瘤。因此，铰孔的精度可达 IT6 ~ IT8，表面粗糙度值为 $Ra1.6\sim0.4\mu\mathrm{m}$。铰孔的进给量一般为 0.2 ~ 1.2mm/r，约为钻孔进给的 3 ~ 4 倍，可保证有较高的生产率。铰孔直径一般不大于 80mm。必须指出，当采用手铰或浮动机铰时，则不能纠正孔的位置误差，孔与其他表面之间的位置精度必须由铰孔前的加工工序来保证。常用的机用铰刀类别与规格尺寸见表 2-146 ~ 表 2-163。

（2）铰刀直径极限偏差的选择　铰刀是定尺寸刀具，故铰孔的尺寸精度与铰刀的直径

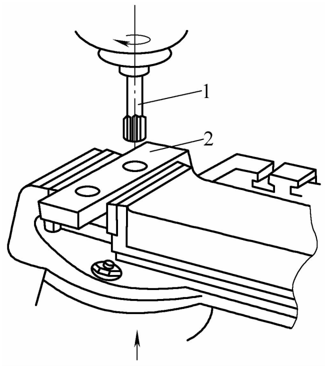


图 7-351 铰孔

1—铰刀 2—工件

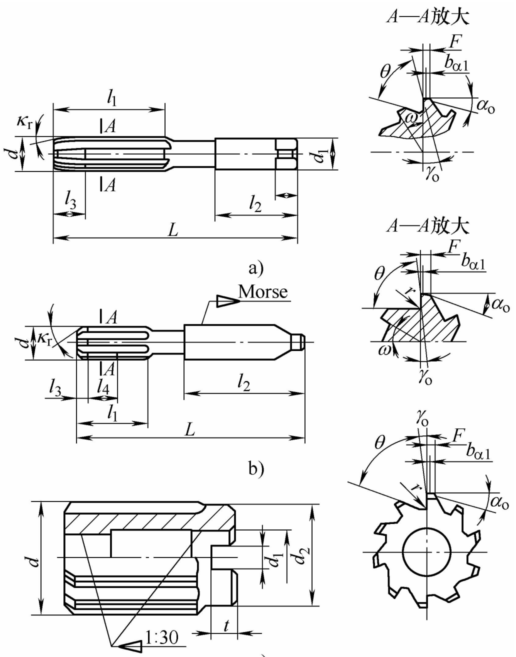


图 7-352 铰刀的结构要素和几何参数

a）直柄手用铰刀 b）锥柄机用铰刀

c）套式机用铰刀

d—铰刀直径 L—总长 l_1—工作部分

l_2—柄部 l_3—切削部分 l_4—圆柱校准部分 θ—齿槽截形夹角 κ_r—主偏角

γ_o—前角 α_o—后角 ω—齿间夹角

$b_{\alpha1}$—棱边 F—齿背宽度

尺寸有着密切的关系。但是，铰刀加工出孔的实际尺寸往往不等于铰刀的实际尺寸。用高速钢铰刀铰孔时，一般情况下（薄壁件除外），由于铰刀刀齿的径向跳动、工件与铰刀的安装误差、积屑瘤的作用以及工件材料、铰削用量、切削液等因素的影响，铰出的工件孔径比铰刀校准（圆柱）部分实际直径稍大。孔径的扩大量 P 称为扩张量；用硬质合金铰刀高速铰削，或铰削塑性、韧性大的材料以及薄壁件时，铰后孔因弹性恢复而缩小，其减小量 P_1 称为收缩量。这样一来，一个不容忽视的问题是，铰刀的直径尺寸在一定范围内，才能加工出精度符合要求的孔。此外，当铰刀磨钝后，刃磨会不断减小铰刀的直径尺寸。为了延长铰刀的寿命，必须给铰刀一定的磨损储备量，这就必然使铰刀与被加工孔之间的直径尺寸出现差异。例如加工 ϕ20H7（$\phi 20^{+0.021}_{0}$ mm）、ϕ20H8（$\phi 20^{+0.033}_{0}$ mm）、ϕ20H9（$\phi 20^{+0.052}_{0}$ mm）同一尺寸三种精度的孔，铰刀直径尺寸分别为 $\phi 20^{+0.017}_{+0.009}$ mm、$\phi 20^{+0.028}_{+0.016}$ mm 和 $\phi 20^{+0.044}_{+0.025}$ mm。

现以 ϕ20H7 孔及加工该孔的铰刀为例，来分析铰刀直径尺寸的极限偏差值，以及应当如何根据被加工孔的尺寸公差和加工状况来确定。在铰孔加工中，如果忽视了这一点，则难以保证铰孔的精度。

1）当铰孔后孔径扩大时，由图 7-353 可

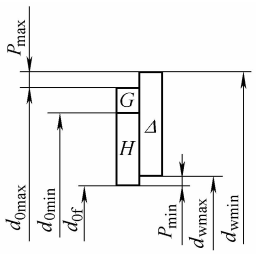


图 7-353 铰刀直径与被加工孔径的尺寸关系

（铰孔后孔径扩大）

Δ—孔径公差 P_{max}—最大扩张量

P_{min}—最小扩张量 G—铰刀制造公差 H—铰刀磨损储备量

d_{wmax}—孔的最大极限尺寸

d_{wmin}—孔的最小极限尺寸

d_{0max}—铰刀最大极限尺寸

d_{0min}—铰刀最小极限尺寸

d_{0f}—铰刀报废尺寸

见，孔径公差 $\Delta=0.021$mm，铰孔的最大扩张量 $P_{max}=0.15\Delta=(0.15\times0.021)$ mm ≈ 0.004mm。由于孔的最大极限尺寸 $d_{wmax}=20.021$mm，故铰刀的最大极限尺寸 $d_{0max}=d_{wmax}-P_{max}=(20.021-0.004)$ mm $=20.017$mm。铰刀的制造公差 $G=0.35\Delta=(0.35\times0.021)$mm ≈ 0.008mm，故铰刀的最小极限尺寸 $d_{0min}=d_{0max}-G=(20.017-0.008)$mm $=20.009$mm，即加工 ϕ20H7 孔的铰刀尺寸为 $\phi20^{+0.017}_{+0.009}$mm。如取铰孔的最小扩张量 $P_{min}=0.003$mm，则铰刀的报废尺寸 $d_{0f}=(20-0.003)$mm $=19.997$mm，而铰刀的磨损储备量 $H=d_{0min}-d_{0f}=(20.009-19.997)$ mm $=0.012$mm。显然，如果铰刀的实际尺寸达到最大极限尺寸$(20+0.017)$mm，则 H 值可以增大到$(0.012+0.008)$mm $=0.02$mm。

了解铰刀直径与被加工孔尺寸之间的关系，对正确使用铰刀有着十分重要的作用。由于铰孔的扩张量 P 一般是由试验所得，约为 0.003 ~ 0.03mm，则收缩量 P_1 约为 0.005 ~ 0.02mm。在上例中，令铰孔的最大扩张量 $P_{max}=0.004$mm，如果铰刀的实际尺寸为 20.017mm，而铰出的孔径大于 20.021mm，显然是铰孔的实际扩张量 $P_{实max}>0.004$mm 所致。假如试验得出 $P_{实max}=0.009$mm，此时则需对铰刀的校准（圆柱）部分进行研磨修正，将其直径减小到 $d_{0max}=20.012$mm，即可铰出合格的孔。总之，从工具厂购买的标准铰刀，使用中如不合适、铰刀磨损改作其他配合精度以及欲用来加工较高精度的孔时，根据上述确定铰刀直径的原则，可自行研磨铰刀，研磨方法参见图 7-360 及其说明。

2）当铰削薄壁孔孔径收缩时，此时铰刀直径与被加工孔径的尺寸关系见图 7-354。由图可见：

铰刀的最大极限尺寸 $d_{0max}=d_{wmax}+P_{1min}$

铰刀的最小极限尺寸 $d_{0min}=d_{0max}-G$

铰刀的报废尺寸 $d_{0f}=d_{wmin}+P_{1max}$

铰刀的磨损储备量 $H=d_{0min}-d_{0f}$

（3）铰刀主要几何角度的选择

1）前角 γ_o 和后角 α_o 的选择。前角和后角主要根据工件材料和刀具材料的性质来选取，见表 7-80。

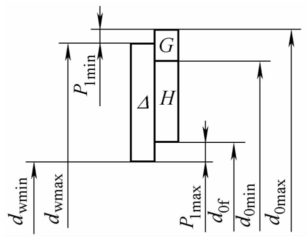


图 7-354 铰刀直径与被加工孔径的尺寸关系

（铰孔后孔径收缩）

Δ—孔径公差 P_{1min}—最小收缩量 P_{1max}—最大收缩量 G—制造公差 H—铰刀磨损储备 d_{wmax}—孔的最大极限尺寸 d_{wmin}—孔的最小极限尺寸 d_{0max}—铰刀最大极限尺寸 d_{0min}—铰刀最小极限尺寸 d_{0f}—铰刀报废尺寸

表 7-80 铰刀的前角和后角

加工材料	铰刀切削部分材料			
	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金
	前角 γ_o/（°）		后角 α_o/（°）	
未淬硬钢	0 ~ 4	0 ~ −5	6 ~ 12	6 ~ 8
中硬钢	5 ~ 10	−5 ~ −10	6 ~ 12	6
不锈钢、耐热钢	8 ~ 12	—	5 ~ 8	—
铜合金	0 ~ 5	—	10 ~ 12	—
镁合金	5 ~ 8	—	10 ~ 12	—
铝和铝合金	5 ~ 10	—	10 ~ 12	—
铸铁	0	5	6 ~ 8	8 ~ 10

2）主偏角 κ_r 的选择。机用铰刀的主偏角主要根据工件材料和孔的结构形式来选取。加工通孔时，铸铁件的 κ_r 为 3° ~ 5°，钢件为 12° ~ 15°；加工不通孔时，$\kappa_r=45°$。

（4）铰刀的刃磨、研磨与检测 铰刀是一种用于精加工孔的定尺寸刀具，故铰刀的精度对被加工孔的质量有重大影响。因此，对铰刀的刃磨有较高的要求。铰刀切削刃面的表面粗糙度值 Ra 不能大于 0.4 ~ 0.2μm。刃磨后再进行研磨。铰刀的刃磨一般是在万能工具磨床上进行的。新铰刀淬火后，先刃磨前刀面，然后刃磨校准部分外圆及切削部分锥面，最后刃

磨后刀面。而铰刀磨损后，一般刃磨切削刃的后刀面，修复切削刃的锋利，不刃磨前刀面。

1）前刀面的刃磨。一般用碟形砂轮的平端面刃磨铰刀的前刀面，步骤如下：

① 将碟形砂轮装在磨头上，并将砂轮的平端面修整成边缘高而中心低、向中心倾斜的内锥面。

② 将铰刀装夹在前、后顶尖之间，顶紧力大小要适当。

③ 根据确定的砂轮方向，将磨头转过30′~1°（见图7-355），以便于砂轮退刀，也使砂轮只有一个边缘参与磨削。

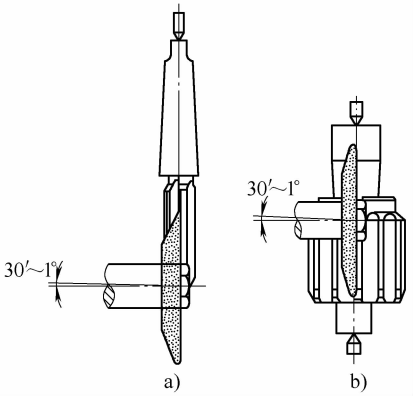


图 7-355 磨头偏转的方向

a）砂轮从铰刀切削锥部退刀

b）砂轮从铰刀后部退刀

④ 调整铰刀与砂轮的相对位置，刃磨 $\gamma=0°$前角的铰刀，砂轮的端面应通过铰刀的中心；刃磨 $\gamma>0°$前角的铰刀，砂轮的端面对铰刀的中心应有一个偏移量 H（见图7-356）：

$$H = \frac{D}{2}\sin\gamma$$

式中 H——砂轮端面对铰刀中心的偏移量（mm）；

D——铰刀直径（mm）；

γ——铰刀前角（°）。

⑤ 起动砂轮，手扶铰刀，使铰刀的前刀面靠在砂轮的端面上，工作台作纵向进给，用手给铰刀一定的作用力，以代替横向进给。作用力要均匀且大小适当，以防烧伤刀齿。砂轮磨至铰刀的两端时，磨削面积逐渐减小，手的作用力也应相应减小，并注意不让砂轮脱出铰

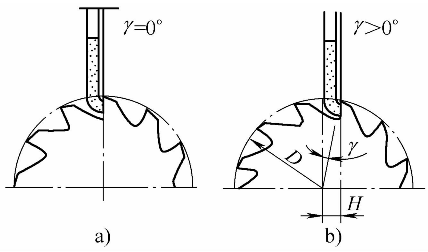


图 7-356 刃磨铰刀的前刀面

a）刃磨 $\gamma=0°$前角的铰刀

b）刃磨 $\gamma>0°$前角的铰刀

刀的端部，以免铰刀的端部出现塌角。磨完一个刀齿后，再刃磨另一个刀齿，直至磨完全部刀齿为止。

2）后刀面的刃磨。一般用碗形砂轮的平端面刃磨铰刀的后刀面，步骤如下：

① 将碗形修整成向中心倾斜 15°~20°的锥面。

② 将铰刀装夹在前、后顶尖之间，顶紧力大小要适当。

③ 转动磨头，使砂轮端面与铰刀轴线成1°~3°的角度，使砂轮只有一个边缘参与磨削，避免砂轮的另一边缘刮伤已磨过的表面（见图7-357）。

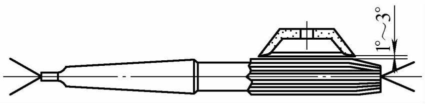


图 7-357 砂轮与铰刀的相对位置

④ 用中心规来调整齿托片的高度，使待磨的切削刃比铰刀中心低一个 H 值来形成后角 α（见图7-358）：

$$H = \frac{D}{2}\sin\alpha$$

式中 H——齿托片比铰刀中心的下降值（mm）；

D——铰刀直径（mm）；

α——铰刀后角（°）。

⑤ 刃磨时，先磨铰刀的校准部分，手扶铰刀使刀齿的前刀面紧贴齿托片的顶端，一手推动工作台纵向进给，逐齿刃磨，磨完一圈后作一次横向进给，继续刃磨。刃磨时，刀齿上应留有圆柱刃带 b_{a1}（$b_{a1}=0.2\sim0.4$mm）。在刃磨切削锥上的后刀面时，先将工作台转成

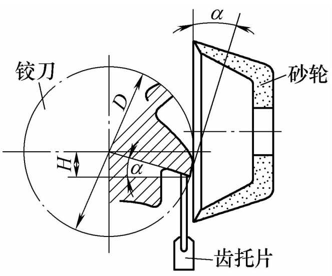


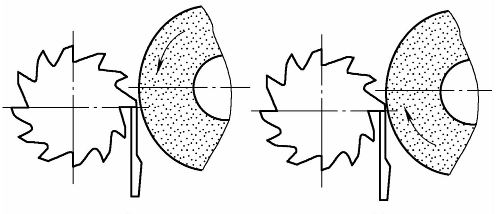
图 7-358 刃磨铰刀的后刀面

κ_r + （1°～3°）。由于切削锥的后角比较准部分的后角稍大，应将齿托片适当调低一些，刃磨方法与刃磨校准部分相同。

刃磨铰刀后刀面时，砂轮相对于铰刀的旋转方向有两种情况：

a. 砂轮顺转磨削。砂轮的旋转使铰刀的前刀面紧贴齿贴片（见图 7-359a），刃磨比较完全，但由于砂轮的旋转方向是从齿背到刃口，切削刃上易产生毛刺和烧伤。

b. 砂轮逆转磨削。由图 7-359b 可见，砂轮的旋转是使铰刀的前刀面脱离的趋势，刃磨时手扶铰刀较困难，容易发生事故，但砂轮的旋转方向是从刃口到齿背，切削刃上无毛刺且不易烧伤。



a) b)

图 7-359 砂轮的旋转方向

a）砂轮顺转磨削 b）砂轮逆转磨削

3）铰刀的研磨。为了进一步提高铰刀的铰孔质量，刃磨后的铰刀应进行研磨。研磨可在普通车床上进行，用铸铁研磨套（见图 7-360a）加研磨剂即可。图 7-360b 所示为在车床上研磨铰刀校准部分刃带外圆。车床带动铰刀反向旋转，转速 $n = 45 \sim 80\text{r/min}$，在研磨套与铰刀接触面间加少量 200#～500#金刚砂粉与煤油拌和的研磨膏，研磨量小时也可只加煤油，用手捏住研磨套作往复运动进行研磨。研磨时，手力的大小需根据研磨量的大小来掌握；往复运动时，应控制研磨套超出铰刀工作部分的距离不宜大于套长的 1/3。研磨套各部分尺寸如下：

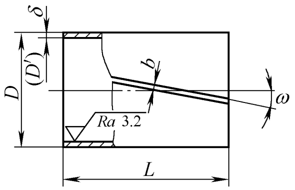
① 壁厚：$\delta = 0.5 \sim 0.8\text{mm}$，依铰刀直径的大小而定。

② 外径：$D = 2\delta + D'$，内径 D'用被研铰刀铰出即可。

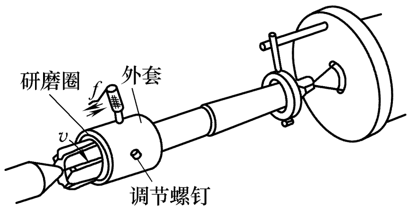
③ 开口槽：宽度 $b = 0.8 \sim 1.0\text{mm}$，斜角 $\omega = 10°$。

④ 长度：L 等于 1.5 倍铰刀工作部分长度。

这种研磨套内外配合面是圆柱面，调节内套与铰刀外径的间隙是利用装在外套上的三个调节螺钉（见图 7-361）。



a)



b)

图 7-360 铰刀的研磨

a）铸铁研磨套（内套）

b）研磨铰刀校准部分刃带外圆

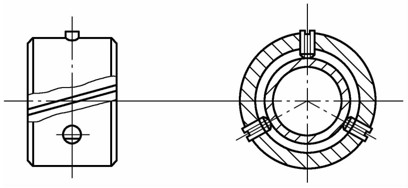


图 7-361 研磨套内套与铰刀外径的间隙调节

4）铰刀刃磨时的注意事项。

① 铰刀装夹在前、后顶尖间时，不能顶得过紧，否则铰刀转动不灵活，小直径铰刀还

容易产生弯曲变形；但也不能顶得太松，否则铰刀容易轴向窜动，会使铰刀刃磨后的形状误差增大。

② 刃磨齿数较少的铰刀，宜采用大直径砂轮。为防止磨伤邻齿，可将砂轮架转过20°~30°。

③ 每磨完一个刀齿的后刀面后，应检查磨出的刃带宽窄是否一致，若不一致，则表明有锥度，应及时调整工作台。

④ 齿托片要尽可能装在靠切削刃处，并使刀齿在刃磨时始终紧贴在齿托片的顶端。

⑤ 工作台纵向进给要均匀，尤其不能使砂轮在铰刀的某一处停留较长时间，以防止刀齿烧伤及在停留处产生凹痕。

⑥ 刃磨螺旋槽铰刀时，用手扶持刀柄，使刀齿前刀面紧贴齿托片，铰刀在转动中不能停留，在螺旋线切削刃的全长上，应在手的一次转动下磨出后角，防止中途磨伤刀齿。

5）铰刀的检测。

① 铰刀直径的检测。铰刀校准部分直径是最重要的尺寸。偶数直齿铰刀，可用外径千分尺直接在铰刀的刃带部位测量；而奇数齿或螺旋槽铰刀，可用比较法测量。测量时，先准备一个尺寸与被测铰刀直径相当的标准件并测量实际直径尺寸，将标准件顶在两顶针间，用指示表的测头接触其圆柱面，转动标准件并将表的零位对准指针。取下标准件，换上被测铰刀，注意应使指示表的测头放在齿槽间，然后转动铰刀，使后刀面慢慢接触指示表的测头。当指示表的测头测量到刃带处时，指示表的读数值即为铰刀半径与标准件半径的差值。

② 铰刀前角和后角的测量。铰刀前角和后角的测量方法及测量工具和铣刀的相同，可参见图2-51及图2-52及相关说明。

③ 铰刀刀齿径向圆跳动测量及外观检查。将铰刀装夹在测量架的两顶尖间，令指示表测头接触铰刀校准部分刀齿的齿背，慢慢转动铰刀，使铰刀由齿背向切削刃方向转动，即可测出各刀齿在一周上的径向圆跳动值。

铰刀外观检查包括切削刃上的毛刺、烧伤、裂纹、卷刃、崩刃等缺陷，以及刀齿的前、后刀面的表面粗糙度（目测或用粗糙度样板比较）。

（5）铰孔常见的质量问题及原因　铰孔的质量问题及原因见表7-81。

表7-81　铰孔的质量问题及原因

质量问题	原 因 分 析
表面粗糙度达不到要求	1）铰刀刃口不锋利或有崩裂，铰刀切削部分和修正部分不光洁 2）切削刃上有积屑瘤，容屑槽内切屑过多 3）铰削余量太大或太小 4）切削速度过高，以致产生积屑瘤 5）切削液浇注不充足或选择不当 6）铰刀偏摆过大
孔径扩大	1）铰刀与孔的中心不重合，偏摆大 2）进给量和铰削余量太大 3）切削速度太高，使铰刀温度上升、直径增大 4）操作者未仔细检查铰刀的直径
孔径缩小	1）铰削钢料的加工余量太大，铰削后内孔弹性复原而孔径缩小 2）铰削铸铁时加了煤油
孔中心不直	1）预加工孔不直，铰小孔时铰刀的刚度差 2）铰刀的切削锥角太大，导向不良，使铰削时发生偏歪
孔呈多棱形	1）铰削余量太大，铰刀切削刃不锋利，使铰刀发生“啃切”现象，产生振动而出现多棱形 2）预加工孔径不圆，铰刀发生弹跳现象 3）铣床主轴振摆太大

在铰孔时出现上述各种质量问题时，可以根据其产生原因，采取相应的技术措施来预防和解决。例如为保证铰孔后孔的表面粗糙度，在刃磨铰刀时，应把铰刀的磨损区全部磨去（见图7-362），并应特别注意磨损严重的部位，即切削部分与校准部分的过渡处（见图7-363）。此外，可用油石将过宽的刃带磨窄（见图7-364），研磨铰刀的后刀面（见图7-365），但必须注意油石不能用图7-366所示的运动方向研磨。铰刀刃口上如粘有积屑瘤，也可用油石修去。

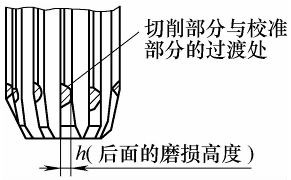


图7-362 铰刀的磨损区

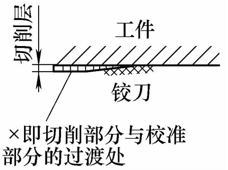


图7-363 铰刀磨损严重的部位

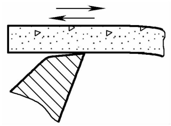


图7-364 铰刀刃带过宽时的研磨

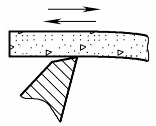


图7-365 研磨铰刀的后刀面

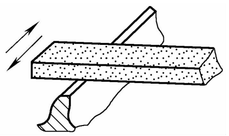


图7-366 油石研磨方向不正确

铰削薄壁工件孔时，如果工件的夹紧力过大，铰孔后卸下工件时，会因变形而使工件孔不圆。故应选用恰当的装夹方法，减小工件的夹紧变形（见图3-42）。在铰削薄壁钢件孔时，为防止铰孔后内孔的弹性恢复使孔径缩小，除应将铰刀刃磨锋利外，在铰刀尺寸选择时应考虑孔径收缩因素（见图7-354），合理选取铰刀尺寸和铰孔余量。为防止铰孔后孔径扩大，对于精度要求较高的孔，还可以采用浮动夹头来装夹铰刀。图7-367所示为万向浮动式铰刀夹头，套筒上端为球面，与垫块为点接触。这样，在销轴与夹头体配合间隙允许的范围内，铰刀可以在任意方向调整其轴线的位置，以便使铰刀的中心与工件的中心重合。必须指出，用浮动铰孔法加工孔时，不能提高孔的位置精度。

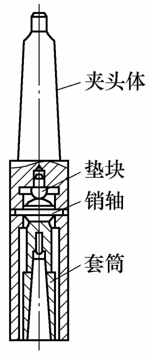


图7-367 万向浮动式铰刀夹头

钻孔、扩孔、铰孔的加工余量和切削用量、切削液的选择参见第5章。

4. 镗孔

（1）镗孔的工艺特点 镗孔的主要优点是工艺灵活、适应性较广。在铣床上镗孔，既可在立式铣床上、又可在卧式铣床上进行（见图7-368、图7-369）。用结构简单的镗刀，可

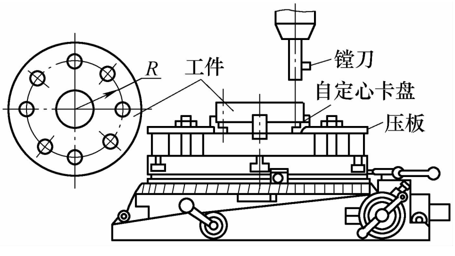


图7-368 在立式铣床回转工作台上镗孔

以完成孔的粗加工、半精加工和精加工，加工

精度范围从 IT10 以下至 IT7 ~ IT6，表面粗糙度值 Ra 可达 1.6 ~ 0.8μm，孔距精度可控制在 0.05mm 左右。镗孔可以加工中、小尺寸的孔，更适于加工大直径的孔。由于标准钻头、扩孔钻、铰刀的最大直径为 80mm，故直径大于 80mm 的孔一般多采用镗孔。镗孔可以修正原有孔轴线的歪斜及位置误差，而高速精镗特别适于有色金属零件孔的精加工。镗孔的主要缺点是生产率较低。特别是单刃镗刀镗孔时，其刀头的断面尺寸要小于被加工的孔径；而刀杆的长度要大于孔深，在加工孔径小而长度大的孔时，在背向切削力的作用下，刚性差的镗刀刀杆容易产生变形和振动。因此，只能降低切削用量来减小切削力的不良影响，以保证孔的加工质量。此外，单刃镗刀只有一个主切削刃参与切削，因此，在加工中、小尺寸的孔时，其生产率比多刃的扩孔钻、铰刀低，终加工质量也不如铰孔容易保证。故镗孔一般较适用于单件、小批量生产中。

（2）镗刀及其选用

1）镗刀的选择。镗刀的类别及结构尺寸见第 2.6 节。

2）镗刀几何角度的选择。表 7-82 所示为镗刀的几何角度，供选用时参考。

3）镗刀杆和镗刀体尺寸的选择。当工件孔径小于 30mm 时，可采用与刀杆一体的镗刀。对于大直径的孔，只要保证刀杆和刀体有足够的刚性即可。一般当孔的深度越大，镗刀杆的直径应选较大值。镗刀杆的直径和镗刀体的截面尺寸见表 7-83。

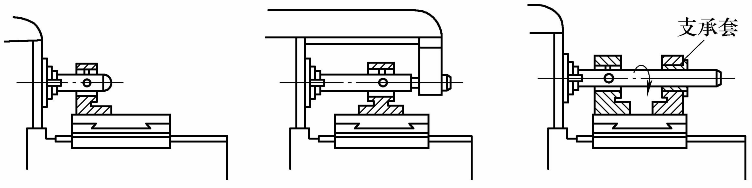


图 7-369 在卧式铣床上镗孔

a）卧式铣床上镗孔 b）卧式铣床上镗孔用吊架 c）卧式铣床上镗孔用支承套

表 7-82 镗刀的几何角度

工件材料	前角 γ_o	后角 α_o	刃倾角 λ_s	主偏角 K_τ	副偏角 K_τ'	刀尖圆弧半径 r_ε/mm
铸铁	5° ~ 10°	6° ~ 12°，粗镗时取大值，精镗时取小值，孔径大取小值，孔径小取大值	0° ~ 5° 通孔精镗时取（−5° ~ −15°）	镗通孔时取 60° ~ 75°，镗台阶孔时取 90°	15°	粗镗取 0.5 ~ 1，精镗取 0.3
40Cr	10°					
45	10° ~ 15°					
铝合金	25° ~ 30°					

表 7-83 镗刀杆的直径和镗刀体的截面尺寸 （单位：mm）

孔径 D	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 120
镗刀杆的直径 d	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 65	65 ~ 90
刀体的截面尺寸 $a \times a$	8 × 8	10 × 10	12 × 12	16 × 16	16 × 16 20 × 20

（3）加工余量及切削用量的选择 镗孔的加工余量及切削用量的选择参见第 5 章。

（4）铣床上镗削坐标孔实例 图 7-370 所示为具有三个平行孔系的零件工作图，材料为 45 钢。加工时，除要掌握孔径尺寸的控制方法，还要掌握孔的中心距控制方法。其操作步骤如下。

1）计算坐标尺寸。以与基准面 A 和右侧面 B 平行的直线为坐标线，以第一孔 O_1 的中心为原点，计算三个孔的中心位置的坐标尺寸。现分别为：$O_1(X=0, Y=0)$，$O_2(X=100\text{mm}, Y=0)$，$O_3(X=64\text{mm}, Y=48\text{mm})$。

2）划线。按照图样尺寸和坐标尺寸，划出三孔的中心位置 O_1、O_2、O_3 及孔的轮廓

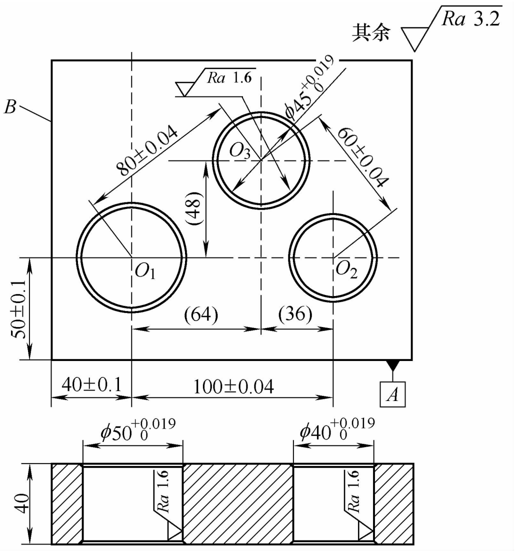


图 7-370 具有三个平行孔系的零件工作图

线，并在孔中心处打样冲眼。

3）选择镗刀的几何参数。根据工件材料，选择前角 $\gamma_o=10°$，后角 $\alpha_o=8°$，刃倾角 $\lambda_s=5°$，主偏角 $\kappa_r=60°$，副偏角 $\kappa_r'=15°$，刀尖圆弧半径 $r_\varepsilon=0.5$mm。

4）选择切削用量。用高速钢镗刀粗镗时，切削深度 $a_p=2$mm 左右，每转进给量 $f=0.5$mm/r，切削速度 $v=15$m/min；精镗时 $a_p=0.25$mm，$f=0.2$mm/r，$v=25$m/min。

5）装夹工件。校正基准面 A 与纵向进给方向平行，并用平行垫铁、压板和螺栓将工件装夹在工作台面上。

6）镗削。

① 钻孔。用 ϕ36mm 的麻花钻，根据划线位置（O_1、O_2、O_3）钻出三个落刀孔。

② 对刀。控制 O_1 的位置，可用试镗和测量相结合的对刀法来调整。

③ 控制孔距的方法。O_2、O_3 的孔距公差为 0.08mm，可采用量块和指示表法控制移距。如条件不具备，也可采用试镗和测量相结合的办法来控制。

④ 控制孔径尺寸。用可调节镗头进行微调，控制孔径尺寸 $50^{+0.039}_{0}$、$40^{+0.039}_{0}$、$45^{+0.039}_{0}$可在孔口深 1mm 处试镗，待尺寸合格后，镗至孔深尺寸。

⑤ 精镗后退刀。退刀时应使刀尖指向操作者，防止拉伤孔壁。

⑥ 孔口两端倒角。用主偏角 $\kappa_r=45°$ 的镗刀镗孔口 $C1.5$ 倒角。

（5）坐标镗孔孔距控制方法 在铣床上镗削坐标孔时，为了保证各孔间孔距的精度，可用指示表和量块控制各工作台的移动。指示表的安装方法见图 7-371。表座 1 安装在工作台的 T 形槽中，用螺钉 2 固定。指示表 8 装入轴 3 上的孔 4 内，并用螺钉 5 固定。定位块 6 用螺钉固定在横向拖板上，并使其表面与指示表测测量杆相垂直。此时，工作台纵向移动时，指示表即可触到定位块。根据被加工工件孔距的尺寸要求，在定位块 6 与指示表之间用量块进行调整。工作台横向、垂向移动距离的调整可用上述安装方法，装上指示表、定位块等即可。

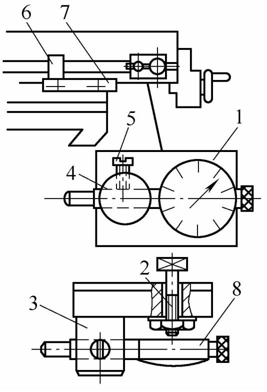


图 7-371 指示表的安装

1—表座 2、5—螺钉 3—轴 4—孔
6—定位块 7—拖板 8—指示表

（6）保证孔径尺寸精度的方法

1）采用微调镗刀头。精镗内孔时，为了控制孔的尺寸，可以采用如图 7-372a 所示的微调刀头。其特点是带有游标刻度盘，其刻度值达 0.0025mm，用来实现背吃刀量的微量调节。刀头 4 上夹有可转位刀片，并有精密的小螺距螺纹。微调时，松开夹紧螺钉 7，用扳手旋动套筒 2，刀头 4 就可以作微量进退，键 9 用来保证刀杆 4 只作移动，最后将夹紧螺钉 7 锁紧。

微调刀头安装的方式有直线型和倾斜型两种。倾斜型微调刀头的夹角通常为 53°8′，因为其正弦值是 0.8，在刻度盘上标注刻线方

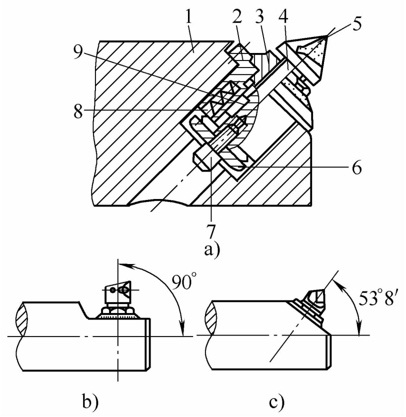


图 7-372 微调刀头的结构及安装型式

a）微调刀头的结构 b）直角型 c）倾斜型
1—刀杆 2—套筒 3—刻度导套 4—带螺距螺纹的刀头 5—刀片 6—垫圈 7—夹紧螺钉 8—弹簧 9—键

便，读数直观（见图 7-372b 和图 7-372c）。

2）采用浮动镗孔。图 7-373 所示为双刃可调节浮动刀块。必须指出，双刃可调节浮动刀块在刀杆矩形孔中安装时，对刀杆轴线的平行度、垂直度与对称度的误差，一般应控制在 0.01/100mm 以内（见图 7-374）。浮动镗孔是双刃对称切削，刀块在刀杆槽内形成间隙配合，可以径向自由浮动，自动对准中心，使两切削刃均匀地切除加工余量，并相互抵消径向切削力，从而避免了刀杆刚性不足，以及刀杆与工件孔之间偏心所造成孔母线误差。浮动镗孔可以用于 ϕ20mm 以上孔的半精加工和精加工，刀块一般做成装配式结构，以便在一定范围内调节刀块的直径，调节范围为 2 ~ 30mm。如 ϕ30mm 刀块的直径调节范围为 30 ~ 33mm，ϕ80mm 刀块的直径调节范围为 80 ~ 90mm。刀头具有 1°30′ ~ 2°的主偏角，并有平直的修光刃，较小的后角（$\alpha = 4° \sim 6°$）在切削中有挤光作用，加工孔表面粗糙度值可达 Ra1.6 ~ 0.8μm，公差等级为 IT9 ~ IT7。但是，浮动镗孔不能改善孔轴线的偏斜和其他表面间原有的位置误差。此外，孔壁有较大砂眼等不圆整缺陷的工件，不能使用浮动镗削。硬质合金可调节浮动刀块（JB/T 7426—2006）的结构与尺寸见表 2-162。

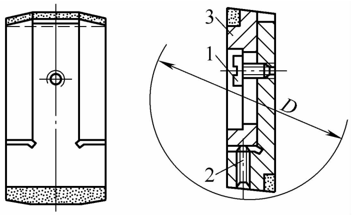


图 7-373 双刃可调节浮动刀块

1—螺钉 2—调节螺钉 3—刀块

（7）镗孔常见的质量问题及防止方法

镗孔常见的质量问题及防止方法见表 7-84。

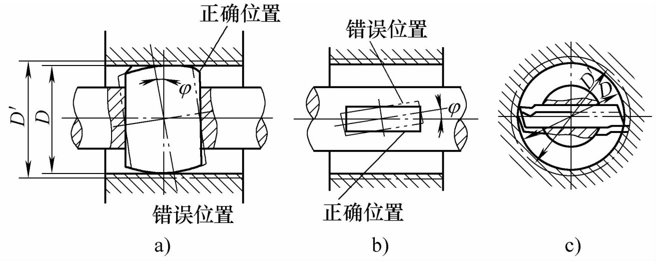


图 7-374 刀块安装误差对孔径的影响

a）刀块与刀杆轴线不垂直 b）刀块与刀杆轴线不平行 c）刀块与刀杆轴线不对称

表 7-84 镗孔常见的质量问题及防止方法

质量问题	原因分析	防止方法
表面粗糙度差	1）刀尖角或刀尖圆弧太小 2）进给量过大 3）刀具已磨损 4）切削液使用不当	1）修磨刀具，增大刀尖半径 2）减小进给量 3）修磨刀具 4）合理使用切削液

（续）

质量问题	原　因　分　析	防　止　方　法
孔呈椭圆形	立铣头零位不正，并用工作台垂向进给	重新找正零位
孔壁有振纹	1）刀杆悬伸太长，刚性差 2）工作台进给爬行 3）工件夹持不当	1）选择合适的镗刀杆，刀杆另一端尽可能加支承 2）调整机床镶条并润滑导轨 3）改进夹持方法或增加支承面积
孔壁有划纹	1）退刀时，刀尖背向操作者 2）主轴未停稳，快速退刀	1）退刀时，拨转刀尖朝向 2）主轴停转后再退刀
孔径超差	1）镗刀回转半径调整不当 2）测量不准确 3）镗刀偏让	1）重新调整镗刀的回转半径 2）仔细测量 3）增加镗刀杆的刚性
孔呈锥形	1）切削过程中刀具磨损 2）镗刀松弛	1）修磨刀具，合理选择切削速度 2）安装刀头时，要紧固螺钉
轴线歪斜（与基准面的垂直度超差）	1）工件的定位基准选择不当 2）装夹工件时，清洁工作未做好 3）采用主轴进给时，零位未找正	1）选择合适的定位基准 2）装夹时，做好基准面和工作台面的清洁工作 3）重新找正主轴零位
圆度超差	1）工件装夹变形 2）主轴回转精度不好 3）立镗时纵横工作台未紧固 4）刀杆刀具弹性变形，钻孔时圆度超差	1）装夹松紧要适当，精镗时，应重新压紧，并注意减小压紧力 2）检查机床，调整主轴精度 3）不进给的工作台应予以紧固 4）选择合理的切削用量，增加刀杆与刀具的刚性
平行度超差	1）没有在一次装夹中镗几个平行孔 2）在钻孔和粗镗时，孔已不平行。精镗时，刀杆产生弹性偏让 3）定位基准面与进给方向不平行	1）尽量采用同一基准面 2）提高粗加工精度，或提高镗刀杆的刚性 3）精确找正基准面

7.4　提高铣削生产率的工艺途径

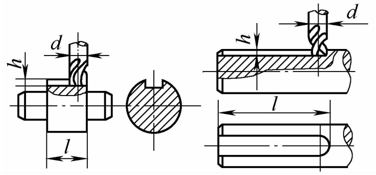
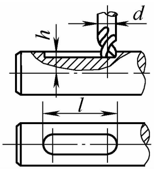
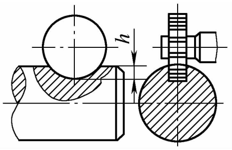
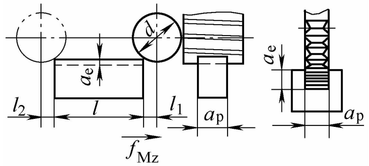
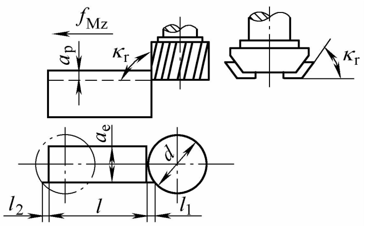
7.4.1　劳动生产率与时间定额

机械加工的劳动生产率是指工人在单位时间内制造合格产品的数量，或者指用于生产单件合格产品所需的劳动时间。提高劳动生产率有多种途径，但都必须以保证并提高产品质量和降低产品成本为前提。

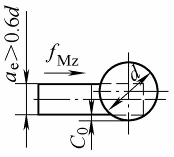
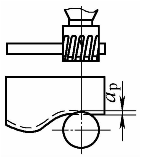
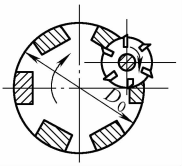
时间定额是指在一定生产条件下，规定生产一件产品或完成一道工序所需消耗的时间。完成零件一个工序的时间定额称为单件时间。它包括以下几个部分：

1）基本时间 T_j。是指直接改变工件的形状、尺寸、相互位置和表面质量所消耗的时间。对于切削加工来说，基本时间是切去金属层所消耗的机动时间（包括刀具切入和切出的时间在内），可以用计算法求出。表7-85所示为常用铣削机动时间的计算公式。

表 7-85 铣削机动时间的计算公式

加工示意图	计算公式	备 注
铣键槽(两端开口) 	$T_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_{Mz}} i$ $l_1 = 0.5d + (1 \sim 2)$ $l_2 = 1 \sim 3$ $i = \frac{h}{a_p}$	1) h 为键槽深度 2) 通常 $i = 1$,即一次铣削到规定深度 3) l_1 为铣刀切入长度,l_2 为铣刀切出长度
铣键槽 ε(一端闭口)	$l_2 = 0$,其余计算同上	
铣键槽(两端闭口) 	$T_j = \frac{h + l_1}{f_{Mc}} + \frac{l - d}{f_{Mz}}$ $l_1 = 1 \sim 2$	l_1 为铣刀切入长度
铣半圆键槽 	$T_j = \frac{l + l_1}{f_{Mc}} = \frac{h + l_1}{f_{Mz}}$ $l_1 = 1 \sim 2$	l_1 为铣刀切入长度
圆柱铣刀铣平面、三面刃铣刀铣槽 	$T_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_{Mz}} i$ $l_1 = \sqrt{a_e(d - a_e)} + (1 \sim 3)$ $l_2 = 2 \sim 5$	
面铣刀铣平面(对称铣削) 	$T_j = \frac{l + l_1 + l_2}{f_{Mz}}$ 当主偏角 $\kappa_r = 90°$时 $l_1 = 0.5(d - \sqrt{d^2 - a_e^2}) + (1 \sim 3)$ 当主偏角 $\kappa_r < 90°$时 $l_1 = 0.5(d - \sqrt{d^2 - a_e^2}) + \frac{a_p}{\tan\kappa_r} + (1 \sim 2)$ $l_2 = 1 \sim 3$	

（续）

加工示意图	计算公式	备　　注
面铣刀铣平面（不对称铣削） 	$l_1=0.5d-\sqrt{C_0(d-C_0)}+(1\sim3)$ $C_0=(0.03\sim0.05)d$ $l_2=3\sim5$	
轮廓铣削和仿形铣削 	$T_j=\dfrac{l+l_1+l_2}{f_{Mz}}$ $l_1=a_p+(1\sim2)$ 封闭轮廓铣削时，$l_2=0$ 非封闭轮廓铣削时，$l_2=1\sim3$	l 为铣削轮廓的实际长度（mm）
回转铣削 	$T_j=\dfrac{L}{f_M}=\dfrac{\pi D_0}{f_M}$	D_0 为工作台直径（mm）

2）辅助时间 T_f。是指在每个工序中为了保证完成基本工艺工作而需要做的辅助动作所消耗的时间，其中包括装卸工件、起停机床、改变切削用量、手动进刀和退刀、试切和测量工件等。

3）布置工作地时间 T_{fw}。它包括检查、润滑机床，更换刀具，加工时对刀具进行修整（如用油石修磨切削刃）或对可转位刀具的刀片转位，校对量具，清理切屑，擦拭机床，收拾工具和工艺文件等所消耗的时间。

4）休息时间 T_x。是指工人在工作班内为恢复体内和满足生理需要所消耗的时间。所以，单件时间 T_d 可以用下式表示：

$$T_d=T_j+T_f+T_{fw}+T_x$$

提高生产率主要是要减少基本（机动）时间 T_j、辅助时间 T_f 和布置工作地时间 T_{fw}。

7.4.2 提高铣削生产率的技术措施

1. 改善零件铣削加工的结构工艺性

由表 7-3 可见，改善零件铣削加工的结构工艺性，可以便于实现多件加工。减少工件装夹次数，提高工件刚性，减少刀具切入、切出行程，减少加工面积以及便于采用高效率的加工方法等，都能减少机动时间和辅助时间，从而提高了铣削加工的生产率。

2. 合理选择加工余量

铣削加工余量需根据加工表面及粗、精加工的需要合理选择。余量过小，则不易保证加工质量；余量过大，会增加走刀次数和机动时间而影响生产率。铣削余量的选择可参见第 5 章。

3. 合理采用先进夹具

在小批量生产中，可采用通用可调夹具或组合夹具；在大批量生产中，可采用高效专用夹具，如气动、液压驱动夹具，联动多件夹紧装置的夹具等，可大大缩短工件的装卸时间，缩短辅助工时，提高生产率。上述各类夹具参见第 3 章。

4. 使辅助时间与机动时间重合

让辅助时间与机动时间部分重合或重合，主要有以下几种方法：

1）采用两个相同的夹具或夹具上的安装

工件的部分（见图 3-66），交替工作；或采用转位或移位夹具来交替工作（见图 3-65），以实现辅助时间与机动时间重合。

2）采用连续加工（见图 3-70），即可一面装卸工件，一面进行铣削，使辅助时间和机动时间重合。如采用双轴立式铣床，还可实现粗铣和精铣在一台铣床上完成。

3）采用在加工过程中测量工件的装置，如在铣床上配备数字显示装置，则在加工过程中把工件的尺寸变化连续地显示出来，并能准确地显示工作台的位移量，可以大大缩短停机测量的辅助时间，同时还易于保证零件的加工精度。

5. 其他缩短辅助时间的方法

1）采用可转位铣刀（见图 2-29）、微调刀具（见图 7-372）及定程装置（见图 7-371 及说明），可以减少加工过程中的换刀、对刀、试切或测量工件的时间。

2）采用适当的辅助工具，以减少装夹和更换刀具的时间。图 7-375 所示为一种快速装

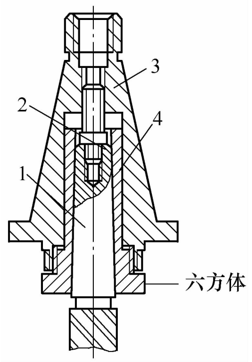


图 7-375　一种快速装卸铣刀的夹头结构

1—铣刀　2—双头螺柱　3—主体　4—锥套

卸铣刀的夹头结构。夹头的主体 3 的外锥面为 7∶24 的锥度，装入铣床主轴内锥孔后，用拉杆从主轴后端拉紧。锥套 4 的外圆与主体 3 的内孔为小间隙配合，锥套 4 的下端带有左旋外螺纹，与主体 3 下端的左旋内螺纹相配。锥套 4 的内锥孔为莫氏 4 号，与铣刀 1 的莫氏锥柄相配。锥套 4 的下端大外圆被铣成六方体，以便用扳手旋紧锥套 4。双头螺柱 2 用来连接铣刀 1 和主体 3。安装铣刀前，先将锥套 4 插入主体 3 内并与主体 3 的左螺纹旋紧，然后把双头螺柱 2 旋入锥柄铣刀 1 尾端的螺孔中，并一起装入锥套 4 内，再将双头螺柱 2 的另一端旋入主体 3 的尾端螺孔中。为使铣刀 1 的锥柄与锥套 4 的内锥孔紧密结合，用扳手卡住锥套 4 下端的六方体，右旋锥套 4，锥套 4 下移；同时锥套 4 的内锥面给铣刀 1 锥柄的摩擦力，使铣刀 1 右旋，在双头螺柱 2 的作用下，使铣刀 1 上移。锥套 4 下移和铣刀 1 上移的共同作用，使两者得到紧密结合，从而锁紧了铣刀柄。拆下铣刀时，则用扳手卡住锥套 4 下端的六方体左旋，使锥套 4 上移，并与铣刀 1 的锥柄脱开，即可旋下铣刀 1。拆装铣刀 1 时，不需拆下夹头的主体 3。

6. 缩短机动时间的方法

（1）合理选择刀具材料及几何角度　用来制作铣刀及刀片的材料主要有高速钢、硬质合金、陶瓷、金刚石、立方氮化硼以及涂层复合刀片等。刀具材料应根据工件及刀具材料的性能和加工性质来合理选取（参见第 2 章 2.1.2 节及第 8 章）。铣刀几何角度的选择可参见 2.1.5 节及表 2-17、表 2-18。

（2）合理选择切削用量及切削液　提高铣削加工的切削用量，可以缩短机动时间，提高生产率（见 5.2 节）。通常可采用高速切削、强力切削来提高切削用量。但随着切削用量的提高，而增大了切削力、提高了切削温度，会加剧刀具磨损和增加工艺系统的变形、振动。因此，必须选用耐热性良好的刀具材料、提高工艺系统刚度等相应措施，保证在充分发挥刀具、机床性能、提高工件加工质量和经济效益的前提下，获得高的生产率。切削液的选用见 5.3 节。

（3）采用多刀加工　多刀加工可以是用几把刀具组合同时加工工件上的几个表面（见图 2-45、图 2-46、图 2-48、图 2-49），也可以是用若干把铣刀同时铣削几个工件表面（见图 2-43、图 2-44）。

（4）采用多件加工　多件加工就是一次加工几个工件，它可分为顺序加工、平行加工和顺序平行加工三种方式。

1）顺序加工（见图 3-66）。在杠杆零件上铣侧面和切槽，将 4 个零件装在一起，依次进行加工。这种方法的主要优点是可以减少刀

具在每个工件上的切入、切出时间，从而缩短机动工时。

2）平行加工（见图2-44）。在卧式铣床上用一组刀具同时加工几个平行排列的工件，称为平行加工。其所需的机动时间仍和加工一个工件时相同，但分摊到每个工件的机动时间就可减少到原来的1/n（n为平行加工的工件数）。从提高生产率的角度来看，平行加工比顺序加工更为有利。由于平行加工同时参与切削的刀具增加，因此要求机床有足够的刚度和较大的功率。

3）顺序平行加工（见图2-43）。它是顺序加工和平行加工的综合，兼有上述两种加工方式的特点。

（5）选择适当的铣削方式

1）大平面铣削时，尽可能选择端铣法。端铣比周铣有较高的生产率（参见2.1.3节）。

2）当加工余量较大时，可采用阶梯铣削法，其工作原理参见图5-3及其说明。阶梯铣削法可在一次走刀中切去较大的余量，从而减少了走刀次数，缩短了机动时间，有效地提高了生产率。图7-376所示为机夹式阶梯面铣刀。铣刀共有6个刀齿，在圆周方向均匀分布。但刀齿径向从No.1号起按刀齿序号依次减小2mm，在端面方向按1.2mm、1.2mm、1.2mm、1.2mm和0.5mm依次增大。铣刀刀齿前角$\gamma_0=3°$、后角$\alpha_0=15°$、主偏角$\kappa_r=45°$。在铣削灰铸铁HT150工件端时，一次可切去6～7mm的铣削余量，生产效率大大提高。

（6）采用高效及结构优良的新型铣刀

1）整体硬质合金高速铣刀。

① 高速整体硬质合金立铣刀。上海工具厂有限公司生产的20107型高速整体硬质合金立铣刀采用TiAlCN涂层，适于加工淬火钢等难加工材料。20107型高速整体硬质合金立铣刀的结构及基本尺寸见表7-86。

② 高速整体硬质合金球头立铣刀。表7-87所示为22101型高速整体硬质合金球头立铣刀的结构及基本尺寸。其涂层材料为TiAIN或Ti（C、N），前者适于铣削高强度、高韧性材料，后者适于加工高强度钢及有色金属。

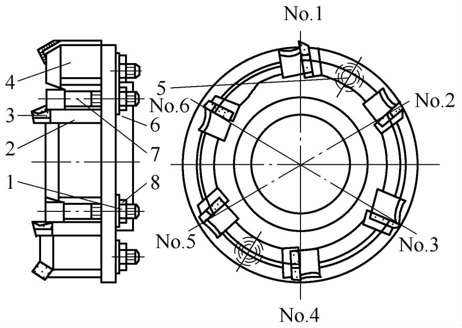
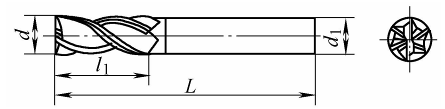


图7-376 机夹式阶梯面铣刀

1—垫圈 2—刀垫 3—刀片 4—刀体 5—内六角螺钉 6—定位盘 7—斜楔螺杆 8—螺母

表7-86 20107型高速整体硬质合金立铣刀的结构及基本尺寸

（单位：mm）



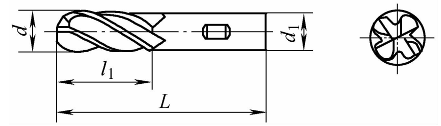
螺旋角$\omega=45°$，侧前角$\gamma_f=8°$

型号示例：型号为20107-00600的铣刀简写为00600

型 号	d	l_1	L	d_1	齿数
00600	6	19	63	6	6
00800	8	28	72	8	6
01000	10	34	84	10	6
01200	12	40	97	12	6
01600	16	48	108	16	8
02000	20	56	122	20	10

表7-87 22101型高速整体硬质合金球头立铣刀的结构及基本尺寸

（单位：mm）



螺旋角$\omega=30°$，侧前角$\gamma_f=5°$

型号示例：型号为20101-00400的铣刀简写为00400

（续）

型　号	d	l_1	L	d_1	齿数
00400	4	25	75	6	4
00500	5	30	75	6	4
00600	6	30	75	6	4
00800	8	40	100	8	4
01000	10	40	100	10	4
01200	12	45	100	12	4
01400	14	45	100	14	4
01600	16	65	150	16	4
02000	20	65	150	20	4

2）硬质合金螺旋齿玉米铣刀。图7-377所示为硬质合金螺旋齿玉米铣刀，用于切削钢、铸铁、钛合金、非铁金属等材料时效果优良。硬质合金螺旋齿玉米铣刀的铣削用量见表7-88。铣刀的主要特点如下：

① 玉米状的铣刀片焊在具有螺旋槽的刀体上，分屑性能好，排屑顺利。

② 同时工作的齿数比直齿铣刀多，可减少刀齿数而增大齿槽的容屑空间及刀齿强度，有利于提高铣削用量，减少机动时间，提高生产率。

③ 螺旋刃切削平稳，可减少冲击、振动，延长铣刀寿命，同时使铣刀实际工作前角增大，切削轻快，有利于减小加工表面粗糙度值。

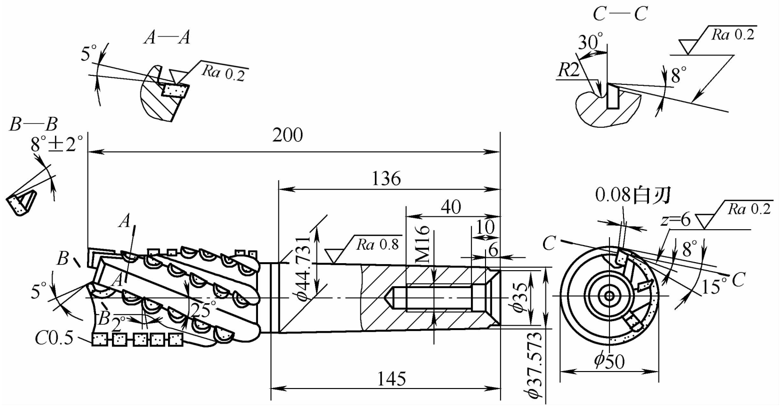


图7-377　硬质合金螺旋齿玉米铣刀

表7-88　硬质合金螺旋齿玉米铣刀的铣削用量

加工材料	v/（m/min）	v_f/（mm/min）	a_w/mm	刀片牌号
钢	125～180	600～1180	2～6	YTS、YW2
铸铁	60～90	粗铣 950～1180	3～8	YG8、YA6、YG6X
		精铣 300～600	0.5～1	
铝合金	452～905	—	—	YW2、YG6X

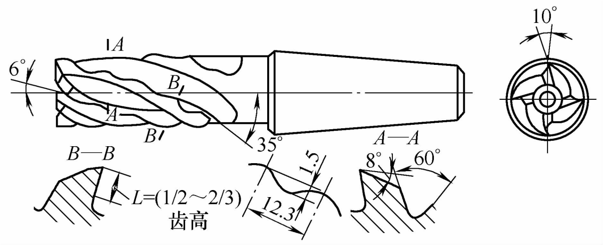


图7-378　波形刃立铣刀

3）波形刃立铣刀。图7-378所示为波形刃立铣刀，是一种新型的分屑铣刀。波形铣刀除有分屑作用外，由于切削刃的总长增加，切削刃的平均负荷下降，散热条件改善，延长了刀具寿命，同时使铣刀实际工作前角增大，切削轻快，可使铣削用量大大增加，从而缩短了机动时间，提高了生产率。

4）采用间隔去齿的铣刀（见图7-379）。在用三面刃铣刀或锯片铣刀铣直槽时，当槽窄而深时，由于切屑排出困难，而标准密齿铣刀的容屑槽小，刀齿、切屑、工件摩擦严重，常会使铣刀崩刃。例如用 ϕ125mm × 3mm 的40齿铣刀铣削铸钢件（ZG270-500）上的槽时，由于槽深52mm，一般铣5～6个工件就需要换刀，不仅铣刀消耗量大，还限制了切削用量、增加了辅助时间。因此，可将相邻刀齿交错地磨去一部分切削刃，使每个刀齿的切削宽度减小一半，可显著地改善排屑条件，从而可以防止崩刃、增加切削用量，提高生产率。也可以将铣刀的1/3刀齿磨去，成为疏齿铣刀（见图7-380），达到上述相同的结果。

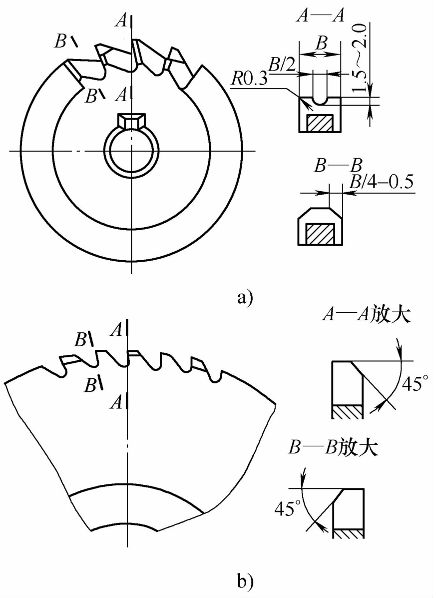


图7-379　间隔去齿的铣刀

a）三面刃铣刀　b）锯片铣刀

7. 采用先进技术及设备

随着多种耐热性好、超硬刀具材料［新型硬质合金、超细晶粒硬合金、陶瓷、立方氮化硼（CBN）、聚晶立方氮化硼（PCBN）、聚晶金刚石（PCD）］及涂层材料［氮化钛（TiN）、碳化钛（TiC）、陶瓷（Al_2O_3）、碳化钛基金属陶瓷（TiCN）、CVD金刚石、DLC类金刚石、氮化碳（C_3N_4）以及TiAlN等］的出现，近年来一种在切削加工中不使用切削液的干切削加工，应用日益广泛。干切削加工是在保证高效率、高产品质量、高的刀具使用寿命以及切削过程可靠性的基础上，创造和使用与切削液同样或更好的加工效果，并达到节约切削液使用和管理费而降低成本的目的，同时又减少切削液的排放量而保护了生态环境。

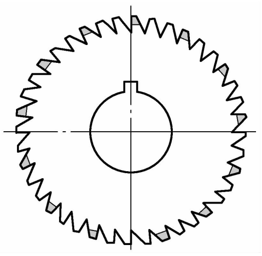


图7-380　疏齿铣刀

（图中涂黑部分磨去）

干切削是建立在新技术支持下的一种先进加工方法。显然，在干切削过程中，切削力会急剧增加，切削温度也很高，刀具磨损严重、加工表面质量恶化等问题都出现。解决这些问题的关键首先是使用上述耐高温的超硬刀具。此外，在理论研究方面指出，工件材料在高温条件下产生了软化效应，抗拉强度下降，使切削力下降，刀具寿命也会提高，实践也证实了这一研究结果。对于高速铣削加工中使用切削液，存在两个不利因素：一是切削液要克服铣刀高速旋转的离心力才能进入切削区；二是切削区的温度往往达到1000℃以上，使切削液在进入切削区前已经汽化，而对切削区难以产生冷却作用。铣刀刀齿不连续切削而导致切入时加热和切出后冷却，产生的温度波动使硬质合金等脆性刀具材料在交变热应力的作用下易于出现裂纹，进而会引起刀具破损。在铣削加工中采用干切削可以避免上述问题。

以下介绍几种金属材料干铣削的应用实例：

（1）灰铸铁与淬火钢件的干铣削　常用的刀具材料为陶瓷、CBN 等。为达到良好的切削效果，灰铸铁的自由石墨质量分数小于 5%，钢的硬度在 45HRC 以上。表 7-89 所示为用 CBN 刀具干铣削灰铸铁和钢件的切削用量。当在切削速度 v_c = 1400m/min、v_f = 40m/min 的条件下铣削铸铁时，切削区温度达 600～700℃，其屈服强度下降，使切削力降低 75% 以上，金属切除率比传统的粗铣提高约 3 倍。此外，由于进给速度很高，大部分切削热留在切屑中而被排出，故工件的热变形小，有利于保证工件的尺寸、形状精度。用直径为 152mm 面铣刀进行干铣削与传统铣削的比较见表 7-90。

表 7-89　CBN 刀具干铣削灰铸铁和钢件的切削用量

切削用量 / 材质	切削速度 /(m/min)	进给量 /(mm/r)	背吃刀量 /mm
灰铸铁（精加工）	1000～2000	0.2～0.3	0.3～0.4
灰铸铁（粗加工）	1000～1500	0.4～0.5	1～3
淬硬钢（精加工）	100～250	0.05～0.4	0.05～0.2
淬硬钢（粗加工）	60～100	0.2～0.4	0.5～1.5

表 7-90　用直径为 152mm 面铣刀进行干铣削与传统铣削的比较

加工参数	传统铣削	干铣削	加工效果
圆周线速度 /(m/min)	6.35	127	提高 20 倍
主轴转速/(r/min)	160	3200	提高 20 倍
进给量/(mm/r)	0.51	0.13	减小 75%
径向切削力/N	1.9127	0.1165	减小 94%
金属切除率 /(cm/min)	525	1312	提高 2.5 倍
刀片数量	10	5	减少 50%

（2）铝合金的干铣削　在铝合金的干铣削中，常用PCD刀具代替硬质合金刀具。在干铣发动机气缸盖球型燃烧室时，加工零件表面粗糙度值在 0.4μm 以下（硬质合金刀具加工后为 0.8～1.6μm），加工 4000 件后的刀具磨损量 VB 仅为 0.02mm。尺寸精度也明显优于硬质合金刀具。为提高生产率，而将进给量从 0.3mm/r 提高到 0.6mm/r，其余切削参数不变时，表面粗糙度值仍达到 0.4～0.8μm，加工 4000 件后刀具磨损量 VB 只增加到 0.033mm。如使用涂层刀具铣削铝合金工件，以金刚石涂层的效果最好，其加工表面粗糙度值可小于 1μm。

（3）超高强度钢的干铣削　因钢中的 Ni、Cr、Mo 元素的含量较高，而使其硬度达到 45HRC 以上，抗弯强度达 1174MPa，用 YT15 硬质合金铣刀加工时，加工质量和效率均差，且刀具寿命短。而采用 Si_3N_4-Al_2O_3 基陶瓷刀具进行干铣削时，加工表面粗糙度值 *Ra* 为 0.48～0.77μm，效果优良。铣削方式为单齿端面对称铣削，铣刀盘直径 d = 125mm。

（4）不锈钢阀门座底面的干铣削　工件材料为 CF-8M（不锈耐酸特钢），原用 CVD 涂层刀片粗铣和精铣（使用切削液）。粗铣时 v_c = 130m/min，f_z = 0.16mm/z，a_p = 2～3mm，a_e = 64mm，每个切削刃可加工 4～6 个工件；精铣时 v_c = 250m/min，f_z = 0.1mm/z，a_p = 0.7～0.8mm，a_e = 64mm，每个切削刃可加工 12～16 个工件。为提高粗铣时的刀具寿命，改用 PVD 涂层刀片进行干粗铣，v_c = 180m/min，f_z = 0.16mm/z，a_p = 2～3mm，a_e = 64mm，每个切削刃可加工 24～28 个工件，取得了良好的效果。

必须指出，进行干铣削时，除了要选取适宜的刀具材料外，还要选择好铣刀的几何参数，以降低切削力和加强刃口强度。使用高刚度、高功率、高转速的铣床（铣削铝合金时要求铣床转速达 6000r/min），高速加工时无振动，铣床结构有利于防止热变形和顺利排屑等。

在采用先进设备方面，特别是在大批量生产中，可根据不同的情况适当选用专用铣床、组合铣床、数控铣床以及自动测量、数显装置等，都可以有效地提高铣削加工生产率。

第 8 章　难切削材料的铣削

8.1　难切削材料的可切削性

工件材料可切削性的优劣，对刀具寿命和铣削生产率等都有显著的影响。材料的切削加工性是指材料被切削时的难易程度。切削加工性好的材料，易于获得高的生产率与加工质量。最常用来衡量材料切削加工性的指标是相对加工性 k_r，即

$$k_r = v_{60}/(v_{60})$$

式中　v_{60}——在刀具寿命为 60min 时，某种被加工材料允许的切削速度；

(v_{60})——在刀具寿命为 60min 时，45 钢（正火状态）允许的切削速度。

通常，把 45 钢（正火状态）在刀具寿命定为 60min 允许的切削速度为基准，来和其他材料相比，相对加工性 k_r 大于 1 的材料，其加工性比 45 钢好；k_r 小于 1 者，其加工性比 45 钢差。常用工件材料的相对切削加工性可分为 8 级，见表 8-1。

表 8-1　常用工件材料的相对切削加工性等级

加工性等级	名称及种类		相对切削加工性	代　表　材　料
1	很易切削的材料	一般有色金属	>3	5-5-5 铜合金,9-4 铝铜合金、铝镁合金
2	易切削的材料	易切削钢	2.5 ~3	退火 15Cr
3		较易切削钢	1.6 ~2.5	正火 30 钢
4	普通材料	一般钢及铸铁	1 ~1.6	45 钢 灰铸铁
5		稍难切削的材料	0.65 ~1	2Cr13 调质
6	难切削材料	软难切削的材料	0.5 ~0.65	40Cr 调质 65Mn 调质
7		难切削材料	0.15 ~0.5	50CrV、1Cr18Ni9Ti 钛合金
8		很难切削的材料	<0.15	铸造镍基高温合金

钢中的碳、磷、铅、镍等元素的质量分数对钢的相对切削性有不同的影响。有的元素的质量分数增加能使切削性能改善（如硫、磷、铅），有的则会使切削性能变差（如铬、钨、镍等）。化学元素对钢的可切削性影响见图 8-1。

由图 8-2 可见，钢中珠光体的比例越多，其可切削性越差。回火马氏体硬度很高，可切削性比珠光体更差；中碳钢、合金结构钢退火与正火状态的金相组织是铁素体和珠光体，可切削性好；此外，调质状态是铁素体和较细的粒状渗碳体，可切削性较差；淬火及低温回火的组织是马氏体，可切削性很差。

了解材料的切削加工性，目的是为了能够针对材料的不同情况来采取相应的措施。例如高碳钢的硬度偏高，且有较多的网状、片状渗碳体组织，加工性差，经过球化退火即可降低硬度，并得到球状渗碳体；热轧中碳钢的组织不均匀，经正火可使其组织与硬度均匀；低碳钢的塑性太高，可通过正火适当降低塑性，提高硬度；马氏体不锈钢常用调质处理来降低塑性；铸铁在切削加工前，一般均要进行退火处

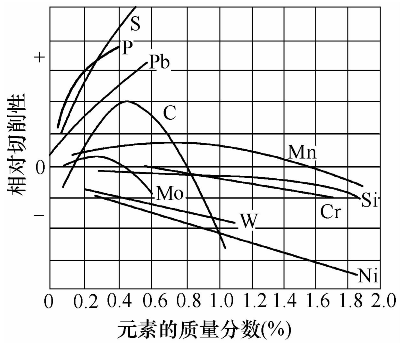


图 8-1　化学元素对钢的可切削性影响

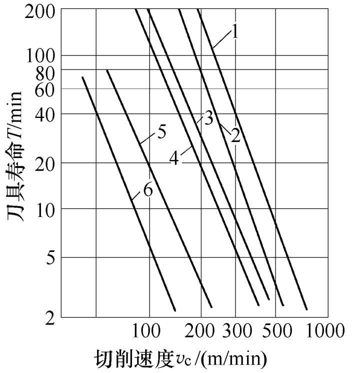


图 8-2　钢的金相组织对可切削性的影响

1—10% 珠光体　2—30% 珠光体　3—50% 珠光体
4—100% 珠光体　5—回火马氏体 300HBS
6—回火马氏体 400HBS

理，以降低表层硬度。以上措施都可以有效地改善材料的切削加工性。此外，还可以通过合理选择刀具几何参数、切削用量与切削液来获得良好的加工效果。

8.2　难切削材料的性能与切削特点

难切削材料的种类繁多，如高强度钢与超高强度钢、高锰钢、淬硬钢、冷硬与合金耐磨铸铁、不锈钢、高温合金、钛合金、喷涂（焊）材料、稀有难熔金属、纯金属、工程塑料、工程陶瓷、复合材料与其他非金属材料等。这些材料性能相差甚大，因而切削加工的特点也不相同。图 8-3 列出了难加工材料的性能与切削加工特点的关系，这将有助于通过改变铣削加工条件（刀具材料、刀具几何参数、切削用量、切削液、机床、夹具及工艺系统刚度等）来解决难切削材料铣削中的各种问题。表 8-2 所示为几种难切削金属材料的相对可加工性。

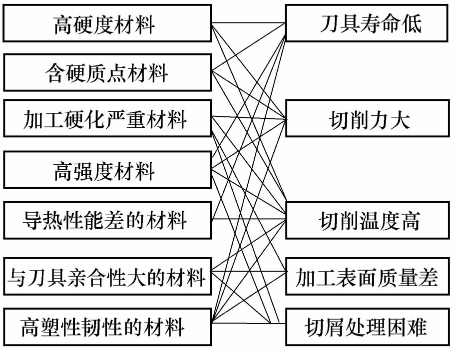


图 8-3　难切削材料的性能与切削加工特点的关系

表 8-2　几种难切削金属材料的相对可加工性

影响可加工性的因素	难切削金属材料（淬火或析出硬化状态）											
	高锰钢	高强度钢			不锈钢				高温合金			钛合金
		低合金	高合金	马氏体时效钢	沉淀硬化型	奥氏体型	马氏体型	铁素体型	铁基	镍基	钴基	
硬度	1~2	3~4	2~3	4	1~3	1~2	2~3	1	2	2~3	2	2
高温强度	1	1	2	2	1	1~2	1	1	2~3	3	3	1
微观硬质点	1~2	1	2~3	1	1	1	1	1	2~3	3	2	1
与刀具亲和性	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	4
导热性	4	2	2	2	3	3	2	2	3~4	3~4	4	4
加工硬化性	4	2	2	1	2	3	2	1	3	3~4	3	2

（续）

影响可加工性的因素	难切削金属材料（淬火或析出硬化状态）											
	高锰钢	高强度钢			不锈钢				高温合金			钛合金
		低合金	高合金	马氏体时效钢	沉淀硬化型	奥氏体型	马氏体型	铁素体型	铁基	镍基	钴基	
粘附性	2	1	1	1	1～2	3	1	1	3	3～4	2	1
相对可加工性	0.2～0.4	0.2～0.5	0.2～0.45	0.1～0.25	0.3～0.4	0.5～0.6	0.5～0.7	0.6～0.8	0.15～0.3	0.08～0.2	0.05～0.15	0.25～0.38

注：各项因素恶化可加工性的相对程度，按顺序为：1→2→3→4。

8.3 高强度钢的铣削

高强度钢一般是指抗拉强度在 1.50GPa、硬度为 40HRC 以上的各种合金钢。由于其强度、硬度高，故具有以下特点：

1）切削力大。在相同的切削条件下，切削高强度钢 30CrMnSiA 时的单位切削力为切削 45 钢的 1.25 倍。

2）切削温度高。高强度钢的导热率低，如 35CrMnSiA 的导热率是 45 钢的 0.75 倍。因此，切削热不易被切屑带走，导致切削区内温度高。

3）刀具磨损大。高强度、高硬度使切削加工时刀具前、后面磨损严重，并且由于刀具与切屑接触长度短，切屑集中在刃口附近很小范围内，容易产生月牙洼磨损，甚至产生硬质合金刀齿崩刃。

（1）刀具材料的选择　铣削高强度钢，宜用红硬性、耐磨性好，不易产生粘结磨损和扩散磨损，并有较高的抗热冲击韧度的刀具材料，如 YT14、YG6、YW3、YD15、YT05、YM051、YM052、M2、707、YT798、YT712 等硬质合金。

（2）刀具几何角度的选择　为提高切削刃强度，防止崩刃，铣刀前角 γ_0 应取小值或负值，刀尖圆弧半径 $r_\varepsilon > 0.8$mm，主偏角 κ_r 应取小值。铣削高强度钢的铣刀几何角度推荐值见表 8-3。

（3）铣削用量的选择　高强度钢的切削速度通常为普通结构钢的 1/8～1/2。按工件强度选择铣削速度见表 8-4，按工件硬度选择铣削用量见表 8-5。

表 8-3　铣削高强度钢的铣刀几何角度推荐值

铣刀		γ_o	λ_s	α_o	κ_r	γ_p	γ_f	β
硬质合金	面铣刀	-15°～-6°	-12°～-3°	8°～12°	30°～75°	-15°～-6°	-12°～-3°	
	立铣刀			4°～10°	90°	-15°～-5°	-10°～-3°	
高速钢	立铣刀			7°～10°	90°		3°～5°	30°～35°
Al_2O_3+TiC 热压陶瓷面铣刀		-20°～-8°	-12°～-3°	4°～10°	30°～75°*			

* 也可以采用圆刀片。

表 8-4　按工件强度选择铣削速度

工件	v_c/(m/min)				
	R_m/MPa	800～1200	1200～1500	1500～1800	1800～2100
刀具	高速钢①	10～30	7～12	3～8	2～4
	硬质合金②	60～120	25～80	8～42	≤8

① 取 $f_z \leqslant 0.1$mm/z。

② 取 $f_z = 0.08 \sim 0.4$mm/z。

表 8-5 按工件硬度选择铣削用量

工件硬度 HB	切削用量	高速钢			硬质合金				陶瓷		
		面铣刀	圆柱铣刀	三面刃铣刀	面铣刀精铣	面铣刀粗铣	圆柱铣刀	三面刃铣刀	面铣刀	圆柱铣刀	三面刃铣刀
250~350	v_c/(m/min)	10~18	10~15	10~15	84~127	70~100	61~100	61~100	100~200	100~300	100~300
	f_z/(mm/z)	0.13~0.25	0.13~0.25	0.13~0.25	0.127~0.38	0.127~0.38	0.18~0.30	0.13~0.30	0.10~0.38	0.15~0.30	0.10~0.30
350~400	v_c/(m/min)	6~10	6~10	6~10	60~90	53~76	46~76	46~76	8~180	80~180	80~180
	f_z/(mm/z)	0.08~0.20	0.13~0.20	0.08~0.20	0.12~0.30	0.12~0.30	0.18~0.30	0.13~0.30	0.08~0.30	0.13~0.30	0.10~0.30

（4）其他注意事项

1）应采取断屑措施，以保证断屑。

2）应使工艺系统有足够的刚性，刀具悬伸量尽量减小，以防止产生振动。

3）如使用高速钢铣刀铣削，应注意充分供给切削液，以降低铣削温度。但使用硬质合金刀具时，不宜使用水溶性切削液，以免切削刃在热应力的影响下发生崩刃。

（5）精铣 CrMnMo 钢刀具实例　图 8-4 所示为精加工 CrMnMo 钢精铣刀，工件材料硬度为 45~50HRC，工件外形为 1200mm×1000mm×150mm 垫板，上、下两平面要求平行度误差为 0.05/1000mm，表面粗糙度值 Ra3.2μm。刀具材料为 AG2，刀片尺寸为 19mm×19mm×10mm。刀具前角 $\gamma_o=-8°$，$\alpha_o=8°$，$\lambda_s=-10°\sim-30°$，负倒棱修磨后 $b_{r1}=0.5\sim2$mm。切削用量选用 $a_p=0.05$mm，$f=0.8\sim1.5$mm/r，$v_c=250$m/min。刀具为宽刃，刃口的表面粗糙度值在 Ra0.4μm 以下，负值的刃倾角 λ_s 使切屑排出时不会碰伤已加工表面。加工时，刀头以单刀机夹形式装在 ϕ200mm 的铣刀盘中进行铣削。由于是断续切削，冲击力较大，为防止振动，要求工艺系统有足够的刚度。本工序为精铣，故需在粗铣、半精铣后进行，并留好适当的精铣余量。

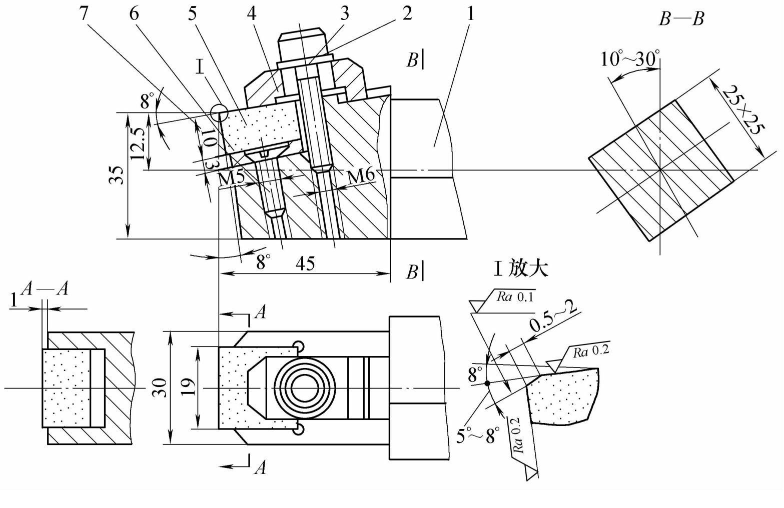


图 8-4 CrMnMo 钢精铣刀

1—刀体 2—内六角螺钉 3—垫圈 4—压板 5—刀片 6—刀垫 7—沉头螺钉

8.4 高锰钢的铣削

高锰钢就是锰的质量分数为 11% ~18% 的合金钢。高锰钢的性能特点是塑性大（约为 45 钢的 4 倍）、韧性高（约为 45 钢的 8 倍）、抗拉强度也较高（约为45 钢的 2 倍），故其切削加工性很差。高锰钢主要有以下特点：

1）切削时塑性变形大，加工硬化严重，导致切削力大。

2）由于高锰钢的切削力大，故切削功率增大，产生的切削热多，而高锰钢的导热性能又差，致使切削温度可达 1000℃以上。因此，刀具磨损严重，允许的切削速度较低。

3）由于高锰钢的塑性大，切削时易产生积屑瘤，加工表面质量不易保证。此外，其线膨胀系数大，在切削热的作用下，工件容易变形，加工精度要求高的工件时，应予以注意。

4）切下的切屑韧性高，断屑困难。

（1）刀具材料的选择　切削高锰钢宜选用硬度高、有一定韧性、热导率大、耐热性能好的刀具材料，应优先选用陶瓷材料（Al_2O_3-TiC 系），如 AG2、AT6、SG4、LT35、LT55 等。粗铣可选用非涂层硬质合金，如 YC40、SC30；半精铣和精铣可选用涂层硬质合金，如 YB11、SD15、YD10.2、YS25、YW3、813M、643、789 等。用高速钢刀具加工高锰钢时，应优先选用 TiN 涂层刀具，或采用高性能高速钢，如 W2Mo9Cr4VCo8、W12Mo3Cr4VCo5Si、W6Mo5Cr4V2Al、W12Mo3Cr4V3N 等。

（2）铣刀主要几何角度的选择　铣削高锰钢时铣刀的主要几何角度见表 8-6。

（3）铣削用量的选择　铣削高锰钢时，背吃刀量 a_p 宜取中等数值，这样既可避免切削力过大，又可避免切削刃在上一道工序形成的硬化层中切削而加速刀具磨损。一般地，粗加工的背吃刀量 $a_p=3\sim6$mm，精加工的背吃刀量 a_p 为 1mm 左右。进给量宜取大值，而切削速度不宜太高，面铣刀铣削高锰钢时的铣削用量见表 8-7。

（4）铣削高锰钢铣刀实例

1）可转位面铣刀。图 8-5 所示为可转位硬质合金面铣刀，工件材料为 ZGMn13，硬度为 180 ~220HBW。刀具材料可选用 YS25、789 等。可转位铣刀片具有 11°法右角，双折线过渡刃，安装后形成 1°18′小正前角、4°50′小正刃倾角，切削刃较锋利，可减小加工硬化。其切削用量：$a_p=1.5\sim3$mm，$f_z=0.2$mm/z，$v_c=30\sim60$m/min。

表 8-6　铣削高锰钢时铣刀的主要几何角度值

刀具材料	γ_o	α_o	γ_{o1}	b_1/mm
硬质合金	−5° ~8°	6° ~10°	−15° ~ −30°	0.15 ~ 0.4
复合陶瓷	−15° ~ −4°	4° ~12°		

刀具材料	λ_s	κ_r	κ_r'	r_ε/mm
硬质合金	−15° ~ 0°	45° ~ 90°	10° ~ 20°	≥0.3
复合陶瓷	−10° ~ 0°	15° ~ 90°		≥0.5

注：1. 刀具应保持锋利，取 $VB\leq0.35$mm。
　　2. 刀尖角 ε_r 尽可能取大值。

表 8-7　面铣刀铣削高锰钢时的铣削用量

加工方法	面　铣　刀					
刀具牌号	SD15			YD10.2		
f_z/(mm/z)	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1
v_c/(m/min)	15	20	30	20	30	40

2）硬质合金前波面立铣刀。图 8-6 所示为硬质合金前波面立铣刀，用于粗加工零件上轴孔的内侧端面，工件材料为 ZGMn13，硬度 170 ~ 220HBW。刀具材料可选用 YC40 或 SC30。其切削用量：$f_z=0.2$mm/z，$v_c=20\sim40$m/min。

由于铣刀切削刃为正弦波形，从而加长了参与切削刀刃的长度，改善了刀具的散热条件，提高了刀具寿命。由于每齿进给量 $f_z=0.2$mm/z，远小于波面刃的深度（为 1mm），相当于沿螺旋面切削刃上分布了若干个曲线分屑槽，因而有良好的分屑和排屑作用。6 个刀齿切削刃波峰之间轴向错开约 2mm，前一刀齿留下的金属被后面的刀齿逐渐切去，减轻了切削刃切入时的滑动现象，有利于减轻刀具的磨损。

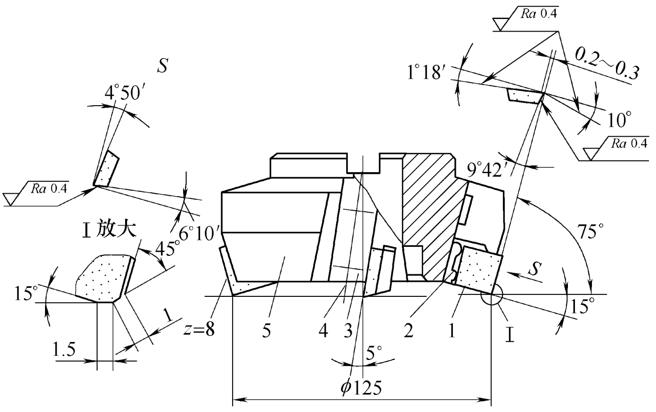


图 8-5　可转位硬质合金面铣刀

1—刀片　2—刀垫　3—压块　4—螺钉　5—刀体

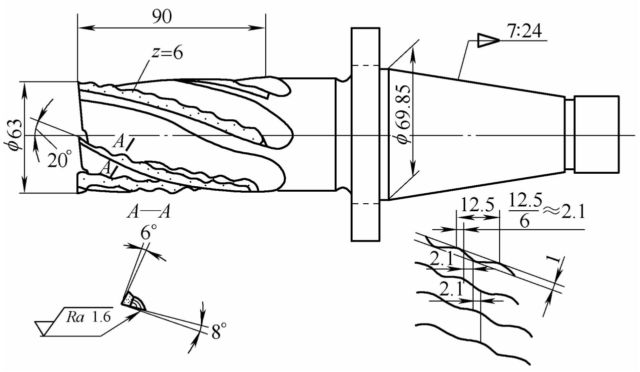


图 8-6　硬质合金前波面立铣刀

8.5　不锈钢的铣削

不锈钢是加入了大量铬、镍元素的合金钢。根据常温下组织的不同，不锈钢可分为铁素体不锈钢（含铬量 12% ~30%）、马氏体不锈钢（含铬量 12% ~18%）和奥氏体不锈钢（含铬量 17% ~25%、含镍量 7% ~28%）。其中，奥氏体的切削性能最差，主要是塑性、韧性大，导热率低和热膨胀系数大。不锈钢主要的切削特点如下：

1）切削力大。不锈钢虽然强度、硬度不高，但其塑性、韧性好，加工硬化严重，高温强度高，切削时塑性变形大，故切削力大。

2）切削温度高。由于切削力大，消耗功率大而导热性能差，所以切削温度高。如加工 1Cr18Ni9Ti，其热导率只有 45 钢的 1/3，切削温度比切削 45 钢高 200 ~300℃。

3）容易生成积屑瘤。不锈钢塑性大，容易生成积屑瘤，影响加工表面的质量。

4）切屑不易卷曲和折断。不锈钢韧性高、高温强度大，故切屑不易卷曲、折断，不利于切屑的排出。

5）刀具易磨损。不锈钢塑性大，粘附性强，容易造成刀具表面剥落，高温强度高、加工硬化严重、切削温度高，加上不锈钢中存在高硬度碳化物（如 TiC 等）所形成的硬质点，从而容易使刀具磨损。

6）线膨胀系数大。不锈钢的线膨胀系数约为钢的 1.5 倍，在切削温度的影响下，工件易产生热变形而影响精度。

（1）切削不锈钢刀具材料的选择

1）采用高速钢。宜选用含钒、钼、铝等元素的高速钢，如 W12Cr4V4Mo、W6Mo5Cr4V2Al、W10Mo4Cr4V3Al、W6Mo5Cr4V5SiN6Al 等。

2）采用硬质合金。宜选细晶粒或有涂层等性能良好的硬质合金，如 YG8W、YM051、813、798、712、YS25、YW1、YW2、YW4 等。

上述刀具材料具有硬度高、耐磨性好、强度高、韧性高和导热性能好等优点，宜于制作面铣刀、立铣刀等，用来铣削不锈钢零件。

（2）铣削不锈钢铣刀几何角度的选择　铣削不锈钢的铣刀，宜选用大前角、大后角，以减少切屑变形和后刀面的摩擦；较小的负倒棱、大的主偏角和负刃倾角；为解决不锈钢切削时的卷屑和断屑问题，刀具前面可磨出圆弧卷屑槽。不锈钢铣刀的几何参数见表 8-8。

（3）不锈钢的铣削用量　由于不锈钢的切削性能差、切削温度高、刀具易磨损，因此，铣削时的切削速度应比铣削普通碳素钢时要低。不锈钢的铣削用量见表 8-9。铣削不锈钢所用的切削液见表 5-47。

表 8-8　不锈钢铣刀的几何参数

角度名称	几何角度		说明
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	
法前角 γ_n	10°～20°	5°～10°	镶齿式硬质合金面铣刀，前面上可磨出圆弧卷屑槽，前角可增大至 20°～30° 切削刃上应留有 0.05～0.20mm 的刃带
法后角 α_n	面铣刀 10°～20° 立铣刀 15°～20°	面铣刀 5°～10° 立铣刀 12°～16°	
副法后角 α_n'	6°～10°	4°～8°	
主偏角 κ_r	60°		面铣刀
副偏角 κ_r'	1°～10°		立铣刀和面铣刀等
螺旋角 β	立铣刀 35°～45° 玉米立铣刀 15°～20°	立铣刀 5°～10°	铣不锈钢，一般宜采用螺旋角较大的立铣刀 铣不锈钢管或其他薄壁工件时，宜采用玉米立铣刀

表 8-9　不锈钢的铣削用量

铣刀种类	刀具材料	切削速度 v_c/（m/min）	进给量
立铣刀	高速钢	8～40	0.013～0.15mm/z
	硬质合金	10～140	0.013～0.15mm/z
波形刃立铣刀	高速钢	14～25	0.08～0.15mm/z
	硬质合金	14～70	0.08～0.15mm/z
面铣刀	高速钢	6～58	0.10～0.40mm/r
	硬质合金	50～160	0.10～0.40mm/r

（续）

铣刀种类	刀具材料	切削速度 v_c/（m/min）	进　给　量
圆片、三面刃铣刀	高速钢	35 ~ 50	20 ~ 60mm/min
	硬质合金	50 ~ 110	20 ~ 60mm/min

注：1. 高硬度不锈钢不采用高速钢铣刀。
2. 工件硬度较高时，取较低的铣削用量。
3. 侧吃刀量较大时，取较低的铣削速度。
4. 波形刃铣刀适用于粗、细铣削。
5. 采用涂层硬质合金刀具，铣削速度可提高 50% 左右。

8.6 高温合金的铣削

高温合金按其生产工艺及性能用途，可分为铸造高温合金和变形高温合金；按其基体元素，可分为铁基、镍基、铁-镍基和钴基高温合金。高温合金中含有大量的高熔点合金元素，如钨（W）、钼（Mo）、钽（Ta）、铌（Nb）、钛（Ti）、铬（Cr）、镍（Ni）和钴（Co）等，而成为很难加工的材料。其切削特点如下：

1）切削力大。高温合金的单位切削力为 45 钢的两倍以上，其原因是：

① 合金元素的含量大。这些大量的合金元素造成高温合金在常温和高温下都有很高的强度，其 800℃ 时的高温强度约为 45 钢的 6.5 倍，抵抗塑性变形的能力强，这是造成切削力大的主要原因。

② 塑性变形大、加工硬化严重。塑性大的材料，切削时塑性变形和摩擦增大，切削力也随之增加。高温合金加工硬化现象又十分严重，已加工表面的硬度往往会比基体硬度高 50% ~100%；而加工镍基高温合金时，硬化程度可增至 200% ~500%，从而使切削力进一步增大。

2）切削温度高。切削高温合金时，由于变形抗力大，刀面与切屑和工件间的摩擦剧烈，消耗的功率大，产生的切削热量多，而高温合金的导热能力低，只有 45 钢的 1/4 ~1/3，从而使切削区的平均温度可达 750 ~ 1000℃。这也导致在切削高温合金时，只能采用较低的切削速度。

3）刀具磨损剧烈。刀具磨损剧烈的主要原因如下：

① 由于高温合金中含有大量合金元素的碳化物和氮化物，这些硬质点对刀具材料的磨损很大，加上加工硬化的影响，使刀具的磨损比加工一般钢材时要大得多。

② 高温合金中多含有与刀具材料相同的元素，使刀具和工件材料间产生亲和力而形成粘刀现象，导致刀具粘结磨损比切削一般钢材时严重。

③ 切削高温合金时，由于切削温度高，而使得刀具的扩散磨损、氧化磨损比加工一般钢材时剧烈。

4）容易产生积屑瘤及导致工件、刀具变形。由于高温合金塑性大，因此切削时易产生积屑瘤而影响加工表面质量；切削温度高，常会使工件、刀具尺寸、形状发生变化而降低加工精度。

（1）刀具材料的选择　加工高温合金的刀具材料必须有高的硬度，特别是高温硬度。对于高速钢，在 600℃ 时硬度不低于 54HRC；而硬质合金在 800℃ 时的硬度不低于 58HRC。此外，还应具有足够的强度、韧性和耐磨性。常用的材料为高速钢和硬质合金。

1）高速钢。宜选用高性能高速钢，如 W2Mo9Cr4VCo8、W12Cr4V5Co5、W6Mo5Cr4V2Al、W12Mo3Cr4V3SiNbAl、W12Mo3Cr4V3Co5Si、W10-Mo4Cr4V3Al 等。

2）硬质合金。宜选用超细晶粒的硬质合金、钨钴类硬质合金和钨钛钽（铌）类硬质合金。粗加工可选用 YS2、YG8W，精加工可选用 YG813、YM052、YM051、YG643M、YD15 等。

（2）铣刀几何参数的选择　切削高温合金时，要特别注意降低切削温度和减少加工硬

化。因此，除应合理选择刀具几何参数外，还应尽可能将刀具磨得锋利，刃口要平直无缺陷，表面粗糙度值要小于 $Ra0.4\mu m$。铣削高温合金常用铣刀的几何参数见表 8-10。

（3）铣削用量的选择 根据高温合金性能的特点，铣削时的背吃刀量不宜过小，切削速度应取较小值，而进给量宜取中等偏小值。部分高温合金的铣削用量见表 8-11。

表 8-10 铣削高温合金常用铣刀的几何参数

铣刀种类	刀具材料	前角 γ_o	后角 α_o	螺旋角 β	主偏角 κ_r	副偏角 κ_r'	倒棱宽度 $b_{\gamma1}$/mm	倒棱前角 γ_{o1}	刀尖圆弧半径 r_ε/mm
面铣刀	高速钢(适用于变形高温合金)	5°~12°	13°~16°	—	45°~60°	15°	—	—	1
	硬质合金	0°~8° 铣铸造高温合金取较小值	13°~16°	—	45°~60°	15°	0.2	-5°	1
立铣刀	高速钢	5°~8°	15°	35°~40°	—	—	—	—	—
	硬质合金	3°~5°	15°	30°~35°					

表 8-11 部分高温合金的铣削用量

材料牌号	刀具种类	刀具材料	背吃刀量① a_p/mm	每齿进给量 a_f/mm	切削速度 v_c/(m/min)	切削液
GH2132 K136	面铣刀	高速钢	1~4~8	0.13~0.2~0.25	5~9~18	水基切削液
	立铣刀		1~3	0.06~0.10	5~15	
GH4037	面铣刀	高速钢	1~3	0.1~0.15	9~15	水基切削液
	立铣刀		<2	0.05~0.15	5~11	
GH4049	面铣刀	高速钢	1~3	0.05~0.20	5~8	水基切削液
	立铣刀		1~3	0.05~0.15	5~10	
K1	面铣刀	高速钢	0.5~0.6	0.05~0.12	3~6	水基切削液
	立铣刀		0.5~1.5	0.05~0.12	5~8	
K417	面铣刀	高速钢	<2	0.05	3~5	水基切削液
	立铣刀		0.5~1.5	0.025~0.08	3~5	
变形高温合金	成形铣刀	高速钢	2~3	0.06~0.08	<12	水基切削液
铸造高温合金			2	0.04~0.05	6	

注：当采用硬质合金铣刀时，切削速度比高速钢铣刀可提高 1~2 倍。

① 立铣刀为侧吃刀量 a_e。

8.7 钛合金的铣削

钛合金根据加入的合金元素的不同，可分为 α 钛合金（钛中加入 Al、B、Sn 等 α 稳定元素）、β 钛合金（钛中加入 V、Mo、Cr 等 β 稳定元素）、$\alpha+\beta$ 钛合金。α 钛合金的主要牌号有 TA4~TA8，β 钛合金的主要牌号有 TB1、TB2、TB3 等，$\alpha+\beta$ 钛合金的主要牌号有 TC1~TC6、TC9、TC11 等。钛合金的强度、热强度高；切削时冷硬现象严重；导热性差，导热

率为45 钢的 1/7 ~ 1/5。其主要铣削特点如下：

1）铣削刃负荷重。加工钛合金时，切屑与前刀面的接触长度只有铣削普通钢材时的 1/4 ~ 1/3，切削力集中在切削刃的附近，容易造成刀具崩刃。

2）铣削温度高。钛合金的导热性能很差，且刀具与切屑的接触长度很短，切削热不易导出，从而使得切削温度很高。铣削钛合金时，切削区温度比铣削 45 钢时约高一倍以上。

3）刀具磨损严重。钛合金铣削时的切削温度高，此外，钛合金很容易和空气中的氧、氮化合形成硬而脆的表层，使刀具硬质点磨损加剧；钛合金和刀具材料中的 C、Co、Ti 等元素化学亲和力强，容易产生粘结磨损；加上钛合金的弹性变形大，铣削时后刀面处工件表面的回弹量大，增加了工件和后刀面上的摩擦，加剧了后刀面上的磨损。因此，铣削钛合金时刀具的磨损严重。

（1）铣削钛合金刀具材料的选择

1）高速钢。宜选用含钴、铝或钒的高速钢，如 W6Mo5Cr4V2Al、W2Mo9Cr4V4Co8、W10Mo4Cr4V3Co10、W7Mo4Cr4V2Co5、W10-Mo4Cr4V3Al 等。

2）硬质合金。宜选用钨钴类硬质合金，如 YS2、YD15、YG8W、YG8B、YG643、YG8、YG6X 等。

（2）铣刀几何参数的选择　铣削钛合金的刀具要求切削刃锋利，切削刃不允许有毛刺、微裂纹和缺口等缺陷，应仔细刃磨和研磨，刀面的表面粗糙度值宜在 $Ra0.2\mu m$ 以下。铣削钛合金用铣刀的几何参数见表 8-12。

（3）铣削用量的选择　铣削钛合金时，由于其导热性能差，刀具磨损严重，故宜选择较低的切削速度。钛合金的铣削用量见表 8-13。

（4）铣削钛合金零件平面的面铣刀　被加工工件材料为 TC4 钛合金，铣刀材料为 YS2。由图 8-7 可见，刀片法后角为 11°，γ_p 为 6°、γ_f 为 5°时，可获得前角 $\gamma_o=6°20'$，使切削刃较锋利，以减小切削力。采用 1.2mm × 35°过渡刃和 $\kappa_r'=10°$ 的副偏角，使刀尖角加大，提高了刀尖强度，改善了散热条件，延长了刀具寿命。

表 8-12　铣削钛合金用铣刀的几何参数

铣刀类型	γ_o	轴向前角 γ_p	径向前角 γ_f	主偏角 κ_r	后角 α_o
面铣刀（可转位硬质合金刀片）	—	0°	5° ~ 7°	45° ~ 75°	8° ~ 12°
立铣刀（镶齿硬质合金刀片）	6° ~ 8°	—	—	—	8° ~ 18°
三面刃铣刀（高速钢）	0° ~ 10°	—	—	—	10° ~ 18°

铣刀类型	副后角 α_o'	副偏角 κ_r'	刃倾角 λ_s	螺旋角 β	刀尖圆弧半径 r_ε/mm
面铣刀（可转位硬质合金刀片）	5° ~ 8°	6° ~ 10°	—	—	0.5 ~ 1
立铣刀（镶齿硬质合金刀片）	8° ~ 12°	3° ~ 5°	—	25° ~ 40°	0.5 ~ 1
三面刃铣刀（高速钢）	6° ~ 10°	1.5° ~ 3°	10°	10° ~ 15°	0.5 ~ 1

注：1. 铣削氧化皮或工件硬度高或顺铣时，α_o 取较小值。

2. 立铣刀直径较小时，α_o 取较大值。

3. 为提高刀具刚性，立铣刀工作部分的长度应尽可能短。

表 8-13 钛合金的铣削用量

铣刀种类	刀具材料	工件材料强度 R_m /MPa	铣氧化皮 铣削速度 v_c/(m/min)	铣氧化皮 每齿进给量 a_f/(mm/z)	铣氧化皮 背吃刀量 a_p/mm	铣氧化皮 侧吃刀量 a_e/mm	粗铣 铣削速度 v_c/(m/min)	粗铣 每齿进给量 a_f/(mm/z)	粗铣 背吃刀量 a_p/mm	粗铣 侧吃刀量 a_e/mm	精铣 铣削速度 v_c/(m/min)	精铣 每齿进给量 a_f/(mm/z)	精铣 背吃刀量 a_p/mm	精铣 侧吃刀量 a_e/mm	切削液
面铣刀	硬质合金	≤1000	18~24	0.06~0.12	大于氧化皮厚度	≤0.6 $d_0$①	36~48	0.1~0.15	1.5~4	≤0.6 d_o	40~70	0.04~0.08	0.2~0.5	≤0.6 d_o	可用水基切削液或不用切削液
		>1000	10~20	0.06~0.10			20~40	0.08~0.12	1.5~4		24~40	0.04~0.06	0.2~0.5		
立铣刀	硬质合金	—	18~24	0.10~0.15	—	大于氧化皮厚度②	36~48	0.10~0.15	—	1~4	38~70	0.04~0.08		0.5	
	高速钢	≤1000	10~15	0.10~0.13	—	大于氧化皮厚度②	20~30	0.05~0.13	—	1.5~3	30~40	0.04~0.08	—	0.5	水基切削液
		>1000	5~12	0.10~0.13			10~24	0.05~0.13			12~30	0.04~0.08			
圆柱铣刀	高速钢	≤1000	7~14	0.06~0.08		大于氧化皮厚度	11~22	0.06~0.08	≤0.5 d_o	1.5~3	14~28	0.04~0.07	≤0.5 d_o	0.5	
		>1000	5~12	0.06~0.08			7~14	0.07~0.10			9~22	0.05~0.07			

① d_0 为铣刀直径。

② 为铣周边。

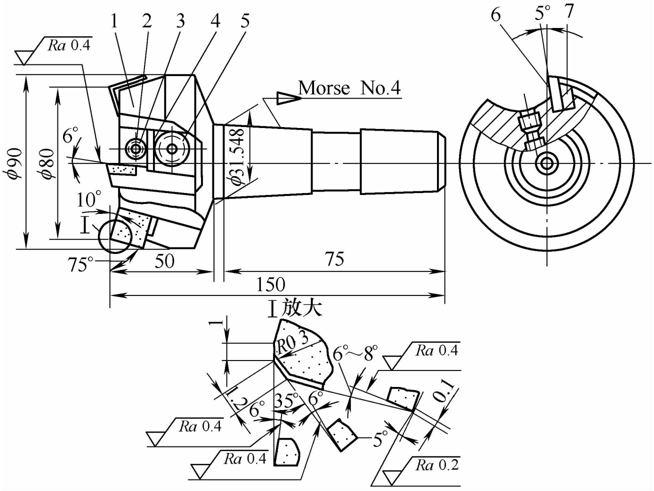


图 8-7 铣削钛合金面铣刀

1—刀体 2—正反扣螺钉 3—刀片压块 4—压块 5—螺钉 6—刀片 7—调整块

8.8　热喷涂层的铣削

热喷涂是利用高温热源将合金粉末或陶瓷等材料加热至熔融状态，在较大的压力和速度下形成雾化微粒，喷覆在经过清理的工件表面上，形成牢固的附着层。热喷涂层使工件表面具有耐磨、耐蚀、耐高温、抗氧化等特殊性能，以提高工件的使用寿命。常用的喷涂合金粉末有镍基、钴基、铁基、碳化钨基、铜基、复合粉、镍包铝、铝包镍、镍包铜、钴（镍）包碳化钨、钴铬铝钇及镍包铬等。

1. 喷涂层切削加工的特点

喷涂材料多为高温、高强度合金，经高温、高速喷射后，表面层硬度更高，兼有高强度钢、高温合金与淬硬钢的特点，属于难切削材料。按喷涂合金的成分及喷涂层的硬度分类，喷涂层材料的切削加工性分级表见表 8-14。

表 8-14　喷涂层材料的切削加工性分级表

切削加工性等级 / 化学成分质量分数(%) / 喷焊层材料	易切削			较易切削			较难切削			难切削		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
硬度 HRC	≥25	30	35	40	45	50	52	58	60	62	64	68
碳(C)	0.1	0.2	0.25～0.3	0.35～0.4	0.5	0.6～0.7	0.8	0.9	0.95	1	1.3	1.5
铬(Cr)	≥5	10	12	14	16	—	17	18	—	19	—	21
硅(Si)	1.5	2～2.5	3～3.5	4	4.5	4.6	5	—	—	—	—	—
硼(B)	0.5	1	1.5	2	2.2	2.3	2.5	3	3.5	4	4.5	—
镍(Ni)	25	20	44.3	46.5	60.2	66.75	67	72	73.5	83.5	85	—
钴(Co)	—	—	16	43	49.5	56.5	59.7	69.7	—	—		—
钴包碳化钨(Co/WC)	—	—	—	—	5	12	15	—	—	36	50	75
铁(Fe)	≤18	17	16	15	12	8	5	—	—	—	—	—

由表 8-14 可见，喷涂层表面硬度小于 45HRC 的铜基、铁基等粉末较易加工，而硬度大于 65HRC 的钴包碳化钨等粉末喷涂表面最难切削加工。喷涂材料切削加工的主要特点如下：

（1）切削力大　喷涂材料的硬度高且加工硬化严重，因此切削力会显著增大。

（2）切削温度高　喷涂材料的化学成分中，大多为熔点很高、导热系数小的元素，切削时能量消耗大、生成热量多、又不易散出，故切削区的温度很高。

（3）刀具磨损严重　由于喷涂层的硬度高、切削区的切削温度也高，加上喷涂材料在熔融喷射过程中形成大量弥散的高硬度碳化物、氧化物等硬质点，其耐磨性约比同等硬度钢高 3～6 倍，切削时会使刀具的磨损十分严重。此外，喷涂层冷却后产生的收缩致使组织不均匀，还会有微气孔及夹渣、表面不平整等缺陷，切削时易产生冲击和振动，使切削刃易出现裂纹，甚至崩刃。

（4）喷涂层易剥落　由于喷涂层和工件表面的结合并不是完全的熔合，加上喷涂层较薄、组织不致密且硬度又高，虽然它和基体材料有一定的结合强度，但在较大的切削力和高的切削温度作用下，喷涂层易产生局部剥落。

2. 热喷涂层平面的铣削

（1）刀具材料的选择　由于不同性能的热喷涂材料切削加工性差异很大，选择刀具材

料应注意其针对性。通常适于切削喷涂层的刀具材料包括硬质合金、陶瓷和立方氮化硼（CBN）等，分述如下：

1）对于喷涂层硬度小于 45HRC 的铁基、铜基材料，由于硬度较低，较容易加工，选用通用的硬质合金刀具材料即可。一般地，应选用热导率较高的 YG 类合金。

2）对于中等硬度的热喷涂材料，宜选用 YS30、YS25、798 等牌号的硬质合金。

3）对于喷涂层硬度大于 65HRC 时，应采用超细晶粒的硬质合金，如 YG6X、YS2 等。

4）如采用复合陶瓷和立方氮化硼（CBN）刀具材料，不仅可以提高刀具寿命，而切削速度亦可成倍增加。常用的陶瓷刀具材料有 SG4、SG5、LT35、LT55 等。

（2）铣刀及几何参数的选择　平面铣削时，常用可转位面铣刀（见图 2-29）。其几何参数：$\gamma_o = -20° \sim -10°$，$\alpha_o = 6° \sim 10°$，$\kappa_r = 15° \sim 20°$，$\kappa_r' = 0°$（修光刃长度 $b_\varepsilon = 1 \sim 1.5$mm），$\lambda_s = -15° \sim -10°$。选取负前角（$-\gamma_o$）、负刃倾角（$-\lambda_s$）、小的主偏角（$\kappa_r$）和较小的后角（$\alpha_o$），以增强切削刃强度和改善散热条件，防止铣削喷涂层时的刀齿崩刃和“打刀”问题。

（3）铣削用量的选择　常用的铣削用量为：$v_c = 10 \sim 18$mm/min，$a_p = 0.1 \sim 0.3$mm，$f_z = 0.3 \sim 0.6$mm/z。

8.9　冷硬铸铁的铣削

冷硬铸铁是常用的耐磨材料之一。其主要的化学成分（质量分数）为：碳 3% ~3.5%，硅 0.5% ~0.7%，锰 0.5% ~0.7%，磷 <0.4%，硫 <0.07%。冷硬铸铁是一种难加工材料，其切削特点如下：

1）冷硬铸铁的表面部分产生白口化，是典型的硬脆材料，表层硬度可达 60HRC 左右；切削力大，粗加工时的单位切削力达 3000MPa；但是会产生强烈的冲击，易引起振动而加剧刀具磨损。

2）冷硬铸铁具有高硬度和较高的热强度，切削时刀具的温度很高、磨损严重，特别是大件加工时，容易出现刀体变形或焊接刀片脱焊而损坏刀具。

3）冷硬铸铁表层组织为白口，硬而脆，刀具切入、切出时，容易出现“崩边”问题，造成废品或损伤刀具。

4）毛坯表面加工余量不均匀以及铸造时的砂眼、气孔、夹渣等缺陷，导致切削时产生较大冲击，容易损坏刀具。

1. 刀具材料的选择

根据冷硬铸铁的切削特点，要求刀具材料的耐热性、耐磨性、抗冲击性能好，导热系数大，抗弯强度高。可选用含 TaC 或 NbC 的 K 类新牌号硬质合金，如 YS2、YS8、YS10、600、610、643、643M、726 等。为提高生产率，还可以采用高硬度（94HRA）、高强度（抗弯强度为 1050 ~1450MPa）、低摩擦系数及抗粘结性能好的氮化硅陶瓷，以及立方氮化硼（CBN）和复合立方氮化硼（PCBN）来切削冷硬铸铁。实践表明，用氮化硅陶瓷刀具切削冷硬铸铁的切削速度比普通硬质合金切削时高 5 倍以上；用立方氮化硼刀具切削冷硬铸铁，金属切除率可达 400cm^3/min；用圆形带倒棱的 PCBN 复合刀片制作铣刀，以 $v_c = 175 \sim 225$m/min、$f_z = 0.1 \sim 0.25$mm/z、$a_p = 0.5 \sim 2.5$mm 的铣削用量加工镍铬白口铁，表面粗糙度值可达 $Ra2 \sim 2.5\mu m$，实现以铣代磨。

2. 刀具几何角度的选择

冷硬铸铁的硬度、强度都很高，切削多为粗加工且冲击大，要求刃口有足够的强度，故应取负前角和较小的后角。如 643 取 $\gamma_o = -5°$，$\alpha_o = 10° \sim 15°$；陶瓷刀片取 $\gamma_o = -15° \sim -5°$，$\alpha_o = 6° \sim 10°$；PCBN 取 $\gamma_o = -10° \sim 0°$，$\alpha_o = 6° \sim 8°$。

为改善刀具散热条件和防止崩刃，宜选用较小的主偏角和负刃倾角。一般地，$\kappa_r \leqslant 45°$，硬质合金刀片 $\lambda_s \leqslant -6°$，陶瓷刀片 $\lambda_s = -10° \sim -5°$，刀尖圆弧半径 $r_\varepsilon \geqslant 1.0$mm。对于陶瓷刀片和 PCBN 刀片，刃口应有负倒棱 $\gamma_{o1} = -30° \sim -20°$，$b_r = 0.2 \sim 0.3$mm。

3. 切削用量的选择

用硬质合金刀具切削冷硬铸铁时，一般选用较低的切削速度（$v_c = 10 \sim 20$m/min），而用较大的 a_p（粗加工时 $a_p = 5 \sim 10$mm，半精加工时 $a_p = 0.5 \sim 2$mm）并尽可能减少走刀次数，以提高刀具寿命。而用圆形 Si_3N_4 陶瓷刀片，

机械夹固在铣刀盘上铣削白口铁，选择铣削用量 $v_c=70\sim90\text{m/min}$，$a_p=1\sim2\text{mm}$，$v_f=160\sim230\text{mm/min}$，加工后零件的表面粗糙度值可达 $Ra6.3\sim3.2\mu\text{m}$。即用陶瓷或立方氮化硼刀片，可选用≥60m/min 的切削速度。

8.10 纯铜的铣削

1. 纯铜的切削特点

纯铜的外观呈紫色，也称紫铜，其含铜量一般在99.5%以上。纯铜的硬度、强度较低，导热性好，但线膨胀系数大，塑性好，韧性大。其切削特点如下：

（1）加工表面质量差

1）铣削时切屑易粘刀，也容易产生积屑瘤，不易获得表面粗糙度值较小的加工表面，同时也影响刀具寿命。

2）断屑困难，可能划伤已加工表面，更影响铣削加工的顺利进行。

3）铣削时塑性变形大，在工件表面易产生水纹状波纹，且发出噪声。

（2）精加工时尺寸和几何精度不易控制　纯铜铣削时，工件温升较高，且线膨胀系数大，即在切削温度影响下易产生变形，故铣削时应注意使用切削液降低切削区温度，测量时亦应考虑温升的因素。

（3）纯铜的硬度、强度较低　纯铜的相对切削加工性为45钢的65%，故允许用较高的铣削速度；当纯铜中含有硫、硒、碲等易切削元素时，其铣削加工性会有较大改善。

2. 刀具材料的选择

纯铜塑性大、切削变形大、易粘刀，铣削时以采用高速钢（W18Cr4V）铣刀为主，也可采用钨钴类硬质合金，如YG3、YG6、YG8等。

3. 铣刀几何角度的选择

切削纯铜的铣刀，前刀面应磨出大圆弧卷屑槽，切削刃刃磨锋利，前后刀面的表面粗糙度值要小。一般地，高速钢铣刀的前角 $\gamma_o=20°\sim35°$，后角 $\alpha_o=12°\sim25°$，主偏角 $\kappa_r=45°\sim90°$，副偏角 κ_r' 一般为 $5°\sim10°$。若用硬质合金铣刀，则前角应略小些。

4. 铣削速度的选择

用高速钢铣刀加工时，一般切削速度 $v_c=50\sim100\text{m/min}$；如采用硬质合金铣刀加工，则 $v_c=200\text{m/min}$。在铣削前，可在工件表面涂上一层乳化液，也可用煤油与全损耗系统用油的混合油或润滑性好的极压乳化液作切削液，并充分浇注，以获得较小的表面粗糙度值。

8.11 铝合金的铣削

1. 铝合金及其铣削特点

工程上使用的铝合金有变形铝合金和铸造铝合金两大类。前者塑性好，可以锻造、冲压或轧制成型材；后者塑性较小，可铸造成支架、气缸体、缸盖、薄壁壳体等坯件。其主要铣削特点是：

1）铝合金的强度、硬度低，导热性好，因而铣削负荷小，铣削温度低，适用于高速铣削。

2）铝合金的熔点较低，温度升高后塑性加大，铣削时粘刀严重，易形成积屑瘤，排屑不畅，不易获得小的表面粗糙度值。

2. 铣刀材料及几何角度的选择

一般选用W18Cr4V高速钢铣刀，或选用与铝合金化学亲和力较小的含钴硬质合金，如YG6、YG8、YG8N等。其中，YG8及YG8N适用于重负荷的粗加工，YG6适用于半精加工或余量均匀条件下的连续粗加工。精加工不宜采用与铝合金化学亲和力强的陶瓷刀具。

为减小粘刀，一般铣刀前角可取 $\gamma_o=20°\sim30°$；为防止工件弹性回复使后刀面的摩擦严重，后角也取较大值，一般 $\alpha_o=8°\sim12°$，粗铣刀取小值，精铣时取大值；前、后刀面的表面粗糙度值 $Ra\leqslant0.8\mu\text{m}$。为增大容屑空间，铣刀的刀齿数宜少。

3. 铣削速度及切削液的选择

用高速钢铣刀铣削时，$v_c=120\sim300\text{m/min}$；硬质合金铣刀铣削时，$v_c=300\sim600\text{m/min}$。铣削时，应用煤油或柴油作切削液，不能用水溶液，以免在已加工表面上形成细小的针孔，影响加工表面质量。

8.12 镁合金的铣削

1. 镁合金的铣削特点

1）镁合金的硬度低（<80HBS），铣削时

可选用较大的铣削用量；导热系数大，加工时切屑带走的热量多，铣削时可不使用切削液，刀具寿命高。

2）镁合金的线膨胀系数大，切削温度上升，会使工件的尺寸精度不易控制；此外，镁合金的弹性模量小，在夹紧力、切削力的作用下容易产生较大的弹性变形，而影响工件的加工精度；镁合金弹性变形大，还会使刀具后刀面和工件已加工表面产生剧烈摩擦，恶化加工表面质量，而加工中还要防止排屑不当而划伤已加工表面，以及夹伤、碰损工件表面。

3）镁合金在 400℃ 以上温度时，细碎切屑容易燃烧，故应及时清除切屑和加强防火措施。

4）镁合金的耐蚀性差。为防止发生电化学腐蚀，加工后的工件不要与钢、铜、镍等金属零件放在一起。

2. 刀具材料的选择

铣削镁合金可用 W18Cr4V 高速钢铣刀，也可采用 YG6、YG8 硬质合金铣刀。当工件精度和表面质量要求高时，可以用金刚石刀具进行精加工。

3. 镁合金铣刀及其几何参数

图 8-8 所示为几种铣削镁合金用铣刀。其中，图 8-8a 为镶齿硬质合金面铣刀，图 8-8b 为高速钢整体铣刀，图 8-8c 为粗铣飞刀，图 8-8d 为套式面铣刀。

4. 铣削用量的选择

表 8-15 所示为铣削镁合金的铣削用量。采用硬质合金或金刚石刀具时，可用较高的铣削速度。

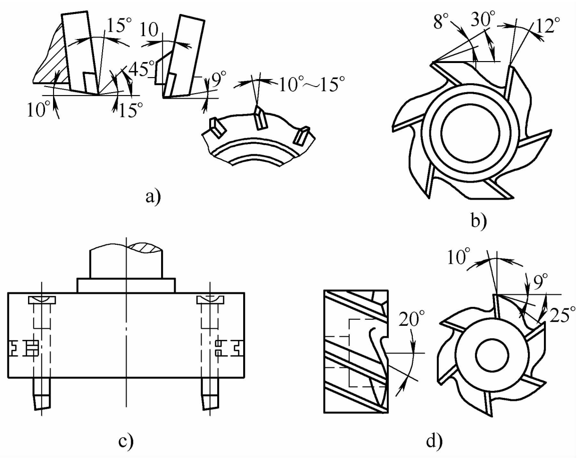


图 8-8 几种铣削镁合金用铣刀

a）镶齿硬质合金面铣刀 b）高速钢整体铣刀 c）粗铣飞刀 d）套式面铣刀

表 8-15 铣削镁合金的铣削用量

工 序	切削速度 /(m/min)	进给速度 /(mm/min)	进给速度 /(mm/z)	背吃刀量/mm
粗铣	270 以下	250 ~ 1270	0.13 ~ 0.64	13 以下
	270 ~ 460	250 ~ 1500	0.13 ~ 0.51	9.5 以下
	460 ~ 910	380 ~ 1900	0.13 ~ 0.25	5.1 以下
粗铣	270 以下	250 ~ 1270	0.13 ~ 0.38	1.9 以下
	300 ~ 910	250 ~ 1780	0.10 ~ 0.20	0.13 ~ 1.30
	910 ~ 1520	250 ~ 2300	0.076 ~ 0.15	0.076 ~ 0.76
	1520 ~ 2700	250 ~ 3000	0.051 ~ 0.13	0.076 ~ 0.76

附　　录

附录 A　切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组

国家标准（GB/T 2075—2007）将切削加工用硬质合金按适用的加工范围进行分类，主要类别有 P、M、K 三种。其中，P 类适用于切削长切屑黑色金属，以蓝色作标志；M 类适用于切削长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属，以黄色作标志；K 类适用于切削短切屑黑色金属、有色金属和非金属材料，以红色作标志。切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组见表 A-1。

表 A-1　切削加工用硬质合金的应用范围分类和用途分组

<table>
<tr><th colspan="3">应用范围分类</th><th colspan="3">用 途 分 组</th><th colspan="2">性能提高方向</th></tr>
<tr><th>代号</th><th>被加工材料</th><th>颜色</th><th>代号</th><th>被加工材料</th><th>适应的加工条件</th><th>切削性能</th><th>合金性能</th></tr>
<tr><td rowspan="6">P</td><td rowspan="6">长切屑的黑色金属</td><td rowspan="6">蓝色</td><td>P01</td><td>钢、铸钢</td><td>高切削速度、小截面切削、无振动条件下的精车和精镗</td><td rowspan="6">↑ 切削速度　进给量 ↓</td><td rowspan="6">↑ 耐磨性　韧性 ↓</td></tr>
<tr><td>P10</td><td>钢、铸钢</td><td>高切削速度、中等或小截面切削的车削、仿形车削、车螺纹及铣削</td></tr>
<tr><td>P20</td><td>钢、铸钢、长切屑可锻铸铁</td><td>中等切削速度和中等切削截面条件下的车削、仿形车削和铣削、小截面切削的刨削</td></tr>
<tr><td>P30</td><td>钢、铸钢、长切屑可锻铸铁</td><td>中或低速、中等或大截面切削以及不利条件下的车、铣、刨</td></tr>
<tr><td>P40</td><td>钢、含砂和气孔的铸钢</td><td>低速、大切削角、大截面切削以及不利条件下的车、铣、插和自动机床加工</td></tr>
<tr><td>P50</td><td>钢、含砂和气孔的中或低强度钢</td><td>需要韧性很好的硬质合金的加工；在低切削速度、大切削角、大截面切削以及不利条件下的车削、铣削、插削和自动机床加工</td></tr>
<tr><td rowspan="4">M</td><td rowspan="4">长切屑或短切屑的黑色金属和有色金属</td><td rowspan="4">黄色</td><td>M10</td><td>钢、铸钢、锰钢、灰铸铁和合金铸铁</td><td>中或高切削速度、小或中等截面切削等条件下的车削</td><td rowspan="4">↑ 切削速度　进给量 ↓</td><td rowspan="4">↑ 耐磨性　韧性 ↓</td></tr>
<tr><td>M20</td><td>钢、铸钢、奥氏体钢或锰钢、灰铸铁</td><td>中等切削速度和切削截面条件下的车削、铣削</td></tr>
<tr><td>M30</td><td>钢、铸钢、奥氏体钢、灰口铸钢、耐高温合金</td><td>中等切削速度、中等或大截面切削的车削、铣削、刨削</td></tr>
<tr><td>M40</td><td>易切钢、低强度钢、有色金属及轻合金</td><td>车削、切断、自动机床加工</td></tr>
</table>

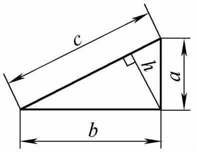
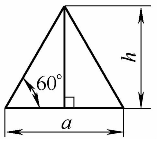
（续）

应用范围分类			用途分组			性能提高方向	
代号	被加工材料	颜色	代号	被加工材料	适应的加工条件	切削性能	合金性能
K	短切屑的黑色金属、有色金属及非金属材料	红色	K01	特硬灰铸铁，大于85HS的冷硬铸铁、高硅铝合金、淬火钢、高耐磨塑料、硬纸板、陶瓷	车削、精车、镗削、铣削、刮削	↑切削速度 ↓进给量	↑耐磨性 ↓韧性
			K10	大于220HBW的灰铸铁、短切屑的可锻铸铁、淬火钢、硅铝合金、铜合金、塑料、玻璃、硬橡皮、硬纸板、瓷器、石材	车削、铣削、钻削、镗削、拉削、刮削		
			K20	低于220HBW的灰铸铁、有色金属铜、黄铜、铝	车、铣、刨、镗、拉，要求韧性很好的硬质合金		
			K30	低硬度灰铸铁、低强度钢、压缩木	在不利条件下和允许具有大切削角的车削、铣削、刨削、插削加工		
			K40	软木或硬木、有色金属	在不利条件下和允许具有大切削角车、铣、刨、插切削加工		

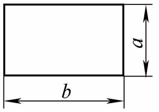
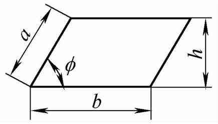
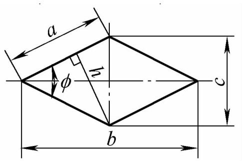
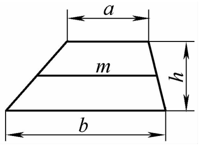
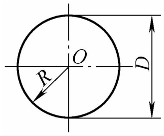
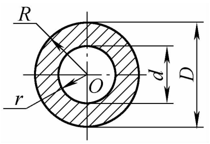
附录B 常用几何图形的面积计算

常用几何图形的面积计算见表B-1。

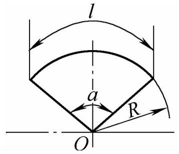
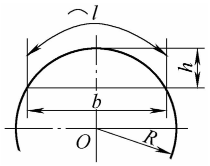
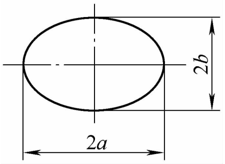
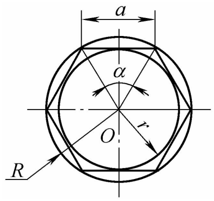
表B-1 常用几何图形的面积计算

名称	图形	计算公式
直角三角形		面积 $S=\frac{1}{2}ch$ $=\frac{1}{2}ab$
等边三角形		面积 $S=\frac{1}{2}ah$ $=0.433a^2$

（续）

名　　称	图　　形	计　算　公　式
长方形		面积 $S=ab$
平行四边形		面积 $S=bh$ $=ab\sin\phi$
菱形		面积 $S=ah$ $=a^2\sin\phi$ $=\frac{1}{2}bc$
梯形		面积 $S=\frac{a+b}{2}$ $=mk$ 式中，m 为梯形中线长
圆		面积 $S=\frac{1}{4}\pi D^2$ $=\pi R^2$
圆环		面积 $S=\frac{1}{4}\pi(D^2-d^2)$ $=\pi(R^2-r^2)$

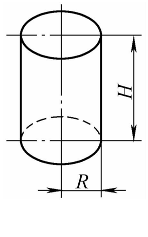
（续）

名　称	图　形	计 算 公 式
扇形		面积 $S=\frac{1}{2}Rl$ 弧长 $l=Ra$（a 单位为弧度） $=0.017453Ra$（a 单位为度）
弓形		面积 $S=\frac{1}{2}Rl-\frac{1}{2}b(R-h)$ 圆半径 $R=\frac{b^2+4h^2}{8h}$ 弓形高 $h=R-\frac{1}{2}\sqrt{4R^2-b^2}$
椭圆		面积 $S=\pi ab$ 式中　a——椭圆的长半轴 b——椭圆的短半轴
正多边形		面积 $S=\frac{1}{2}nR^2\sin\alpha=nr^2\tan\frac{\alpha}{2}$ $=\frac{1}{4}na^2\cot\frac{\alpha}{2}$ 式中　R、r——外接圆、内切圆的半径 a、n——正多边形的边长、边数 $\alpha=\frac{360°}{n}$

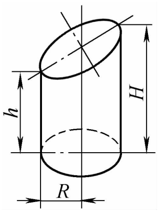
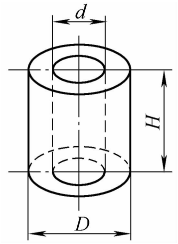
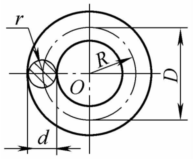
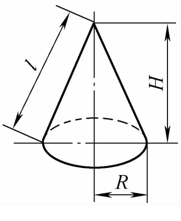
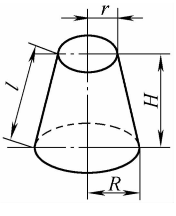
附录 C　常用几何体的体积和表面积的计算

常用几何体的体积和表面积的计算见表 C-1。

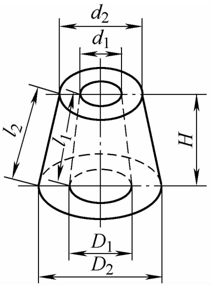
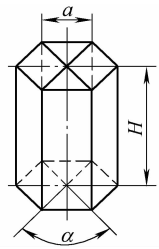
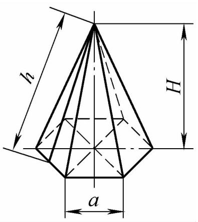
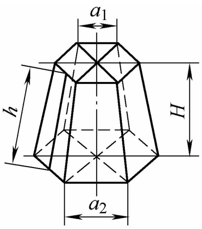
表 C-1　常用几何体的体积和表面积的计算

名　称	图　形	计 算 公 式
正圆柱体		侧表面积 $S_{侧}=2\pi RH$ 全面积 $S_{全}=2\pi R(H+R)$ 体积 $V=\pi R^2H$

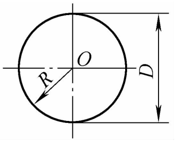
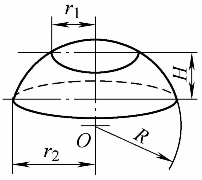
（续）

名　　称	图　　形	计　算　公　式
斜截圆柱体		侧表面积 $S_{侧}=\pi R(H+h)$ 全面积 $S_{全}=\pi R\left[h+H+\sqrt{R^2+\left(\frac{H-h}{2}\right)^2}\right]$ 体积 $V=\pi R^2\frac{H+h}{2}$
空心圆柱体		侧表面积 $S_{侧}=\pi H(D+d)$ 体积 $V=\frac{1}{4}\pi H(D^2-d^2)$
圆柱环体		全面积 $S_{全}=4\pi^2 rR=\pi^2 Dd$ 体积 $V=2\pi^2 r^2 R=\frac{1}{4}\pi^2 d^2 D$ 式中　D 为圆柱环体的平均直径
正圆锥体		侧表面积 $S_{侧}=\pi Rl$ 全面积 $S_{全}=\pi R(l+R)$ 体积 $V=\frac{1}{3}\pi R^2 H$ 母线长 $l=\sqrt{R^2+H^2}$
平截正圆锥体		侧表面积 $S_{侧}=\pi l(R+r)$ 全面积 $S_{全}=\pi[l(R+r)+R^2+r^2]$ 体积 $V=\frac{1}{3}\pi H(R^2+r^2+Rr)$ 母线长 $l=\sqrt{(R-r)^2+H^2}$

（续）

名 称	图 形	计 算 公 式
平截空心圆锥体		侧表面积 $S_{侧}=\frac{1}{2}\pi[l_2(D_2+d_2)+l_1(D_1+d_1)]$ 体积 $V=\frac{1}{12}\pi H(D_2^2-D_1^2+D_2d_2-D_1d_1+d_2^2-d_1^2)$ 母线长 $l_1=\sqrt{\left(\frac{D_1-d_1}{2}\right)^2+H^2}$ $l_2=\sqrt{\left(\frac{D_2-d_2}{2}\right)^2+H^2}$
正棱柱体		侧表面积 $S_{侧}=\pi aH$ 全面积 $S_{全}=\pi aH+2S=\pi aH+\frac{1}{2}na^2\cot\frac{\alpha}{2}$ 体积 $V=SH=\frac{1}{4}na^2H\cot\frac{\alpha}{2}$ 式中 n——侧面面数 S——底或顶面正多边形面积 $\alpha=\frac{360°}{n}$
正棱锥体		侧表面积 $S_{侧}=\frac{1}{2}nah$ 全面积 $S_{全}=\frac{1}{2}nah+S$ 体积 $V=\frac{1}{3}\pi SH$ 式中 n——底面正多边形边数 h——斜高 S——底面正多边形面积
平截正棱锥体		侧表面积 $S_{侧}=\frac{1}{2}n(a_1+a_2)h$ 全面积 $S_{全}=\frac{1}{2}n(a_1+a_2)h+S_1+S_2$ 体积 $V=\frac{1}{3}H(S_1+S_2+\sqrt{S_1S_2})$ 式中 n——底或顶面正多边形边数 h——斜高 S_1、S_2——顶面、底面正多边形面积

（续）

名　　称	图　　形	计　算　公　式
球体		全面积 $S_{全}=4\pi R^2=\pi D^2$ 体积 $V=\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{1}{6}\pi D^3$
球台		侧表面积 $S_{侧}=2\pi rh$ 全面积 $S_{全}=\pi(2RH+r_1^2+r_2^2)$ 体积 $V=\frac{1}{6}\pi H[3(r_1^2+r_2^2)+H^2]$

参 考 文 献

[1] 刘占斌，黄东．金属切削刀具的选用[M]．北京：化学工业出版社，2010.

[2] 杨叔子．机械加工工艺师手册[M]．2版．北京：机械工业出版社，2011.

[3] 李凯岭．机械制造技术基础[M]．北京：清华大学出版社，2010.

[4] 邱言龙．铣工实用技术手册[M]．北京：中国电力出版社，2008.

[5] 张福润，徐鸿本，刘延林．机械制造技术基础[M]．2版．武汉：华中科技大学出版社，2000.

[6] 机械工业技师考评培训教材编审委员会．铣工技师培训教材[M]．北京：机械工业出版社，2001.

[7] 陈宏钧．实用机械加工工艺手册[M]．3版．北京：机械工业出版社，2010.

[8] 姜全新，唐燕华．铣削工艺技术[M]．沈阳：辽宁科学技术出版社，2009.

[9] 倪为国，潘延华．铣削刀具技术及应用实例[M]．北京：化学工业出版社，2007.

[10] 钱昌明，张晓芳．铣削加工禁忌实例[M]．北京：机械工业出版社，2005

[11] 黄如林，刘新佳，汪群．切削加工简明实用手册[M]．2版．北京：化学工业出版社，2010.

[12] 太原市金属切削刀具协会．金属切削实用刀具技术[M]．2版．北京：机械工业出版社，2002.

[13] 卢玲．铣削工艺分析及操作案例[M]．北京：化学工业出版社，2009.

[14] 李保章．铣削加工操作技巧与禁忌[M]．北京：化学工业出版社，2009.

[15] 赵如福．金属机械加工工艺设计手册[M]．上海：上海科学技术出版社，2009.

[16] 朱耀祥，浦林祥．现代夹具设计手册[M]．北京：机械工业出版社，2010.

[17] 吴拓．现代机床夹具设计[M]．北京：化学工业出版社，2009.

[18] 徐鸿本．机床夹具设计手册[M]．沈阳：辽宁科学技术出版社，2004.

[19] 张文革，石枫．公差配合与技术测量[M]．北京：北京理工大学出版社，2010.

[20] 王长春，孙步功．互换性与技术测量基础[M]．2版．北京：北京大学出版社，2010.

[21] 梁子午．检验工实用技术手册[M]．南京：江苏科学技术出版社，2004.

[22] 何健民．铣工计算和常用数表[M]．北京：机械工业出版社，2004.

[23] 杨坤怡．制造技术[M]．北京：国防工业出版社，2007.

[24] 张木青，于兆勤．机械制造工程训练[M]．广州：华南理工大学出版社，2007.

[25] 李逢春，秦明范．工艺尺寸链的分析与计算[M]．北京：机械工业出版社，1998.

[26] 李凯岭．机械加工工艺过程尺寸链[M]．北京：国防工业出版社，2008.

[27] 韩荣第，于启勋．难加工材料切削加工[M]．北京：机械工业出版社，1996.

[28] 刘登平．机械制造工艺及机床夹具设计[M]．北京：北京理工大学出版社，2008.

铣削工艺　随用随查

选取适当内容——收录铣削加工所需全面资料

介绍具体方法——通过案例讲解资料如何应用

采用恰当形式——通过大量图表浓缩便于查询

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

上架指导　机械工程／机械加工

ISBN 978-7-111-38109-9

策划编辑◎李万宇／封面设计◎路恩中

ISBN 978-7-111-38109-9

定价：99.00元